POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Técnicas digitales para el estudio de bóvedas complejas | Digital techniques for the study of complex vaults

Original
Técnicas digitales para el estudio de bóvedas complejas | Digital techniques for the study of complex vaults / López González, C., Spallone, R., Vitali, M. - In: Investigando en Ingenieria de Edificacion. Research in Building Engineering / Albiol J.R., Pagan A.. - ELETTRONICO. - Valencia : Universitat Politecnica de Valencia, 2021. - ISBN 9788412451825. - pp. 278-287

Availability:
This version is available at: 11583/2947800 since: 2021-12-24T16:02:48Z

Publisher:
Universitat Politecnica de Valencia

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

28 June 2026



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN

EXCO'21

RESEARCH in BUILDING ENGINEERING

INVESTIGANDO en INGENIERÍA de EDIFICACIÓN



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN

INVESTIGANDO en INGENIERÍA de EDIFICACIÓN

RESEARCH in BUILDING ENGINEERING

EXCO'21

EDITORS Editores

ALBIOL IBÁÑEZ, José Ramón — Universitat Politècnica de València
COS-GAYÓN LÓPEZ, Fernando José — Universitat Politècnica de València

PUBLISHING office Editoral:

REPROEXPRES Ediciones

Tel.: +34 96 361 29 39
www.reproexpres.com
atencionalcliente@reproexpres.com

MAKING Maquetación:

ALBIOL IBÁÑEZ, José Ramón — Universitat Politècnica de València
PAGÁN MENÉNDEZ, Alejandro — Reproexpres S.L.

ISBN 978-84-124518-2-5 **Depósito legal** V-3882-2021

ACKNOWLEDGMENTS Agradecimientos:

©2021, ETS de Ingeniería de Edificación, UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

RESEARCH in BUILDING ENGINEERING EXCO’21

INVESTIGANDO

en INGENIERÍA de EDIFICACIÓN EXCO’21

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ETS de INGENIERÍA de EDIFICACIÓN

EDITORS Editores

ALBIOL IBÁÑEZ, José Ramón — Universitat Politècnica de València
COS-GAYÓN LÓPEZ, Fernando José — Universitat Politècnica de València

PUBLISHING office Editoral:

REPROEXPRES Ediciones

Tel.: +34 96 361 29 39
www.reproexpres.com
atencionalcliente@reproexpres.com

MAKING Maquetación:

ALBIOL IBÁÑEZ, José Ramón — Universitat Politècnica de València
PAGÁN MENÉNDEZ, Alejandro — Reproexpres S.L.

ISBN 978-84-124518-2-5 **Depósito legal** V-3882-2021

ACKNOWLEDGMENTS Agradecimientos:

©2021, ETS de Ingeniería de Edificación, UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE EXCO

SPAIN

ALBIOL IBÁÑEZ, José Ramón	Universitat Politècnica de València
ALMENAR MUÑOZ, Mercedes	Universitat Politècnica de València
ANGULO IBÁÑEZ, Quiteria	Universitat Politècnica de València
APARICIO FERNÁNDEZ, Carolina Sabina	Universitat Politècnica de València
AZNAR MOLLA, Juan Bautista	Universitat Politècnica de València
BONET SENACH, José Luís	Universitat Politècnica de València
CARCEL CARRASCO, Javier	Universitat Politècnica de València
CASAR FURIÓ, Maria Emilia	Universitat Politècnica de València
CHÍAS NAVARRO, Pilar	Universidad Alcalá de Henares, Madrid
GARCÍA BALLESTER, Luis V.	Universitat Politècnica de València
GIL PIQUERAS, M. Teresa	Universitat Politècnica de València
FERNANDEZ PLAZAOLA, Igor	Universitat Politècnica de València
GIRBÉS PÉREZ, Jorge	Universitat Politècnica de València
GANDIA ROMERO, José Manuel	Universitat Politècnica de València
IBORRA LUCAS, Milagros	Universitat Politècnica de València
LLINARES MILLÁN, Jaime	Universitat Politècnica de València
LÓPEZ PATIÑO, Gracia	Universitat Politècnica de València
LÓPEZ GONZÁLEZ, María Concepción	Universitat Politècnica de València
MAS BARBERÁ, Xavier	Universitat Politècnica de València
MEDINA RAMÓN, Francisco Javier	Universitat Politècnica de València
NAVARRO GARCÍA, María Luisa	Universitat Politècnica de València
NAVARRO ASTOR, Elena	Universitat Politècnica de València
PALMERO IGLESIAS, Luis	Universitat Politècnica de València
PEÑALVO LÓPEZ, Elisa	Universitat Politècnica de València
PEREIRO BARCELÓ, Javier	Universidad de Alicante
RODRÍGUEZ NAVARRO, Pablo	Universitat Politècnica de València
SALANDIN, Andrea	Universitat Politècnica de València
SALINAS MARTÍNEZ, Pedro	Universitat Politècnica de València
	Universitat Politècnica de València

ITALY

BERNARDO, Graziella	Università degli Studi della Basilicata, Matera
ANDRISANI, Giuseppe	Università degli Studi della Basilicata, Matera
GUIDA, Antonella	Università degli Studi della Basilicata, Matera
GRECCHI , Manuela	Politecnico di Milano
MAININI, Andrea Giovanni	Politecnico di Milano
MALIGHETTI, Laura	Politecnico di Milano
PISANI, Marco Andrea	Politecnico di Milano
POLI, Tiziana	Politecnico di Milano
RE CECCONI, Fulvio	Politecnico di Milano
DI RUOCCO, Giacomo	Università degli Studi di Salerno
SICIGNANO, Enrico	Università degli Studi di Salerno

TURKEY

HATTAP, Sibel Onat	Mimar Sinan Fine Arts University, Istanbul

LITHUANIA

ŠLIOGERIENĖ, Jūratė	Vilnius Gediminas Technical University
VILUTIENĖ, Tatjana	Vilnius Gediminas Technical University
ŠAPARAUSKAS, Jonas	Vilnius Gediminas Technical University

UKRAINE

YEKSAROVA, Nadia	Odessa State Academy of Civil Engineering & Architecture
YEKSAROV, Vladimir	Odessa State Academy of Civil Engineering & Architecture
SURIANINOV, Mykola	Odessa State Academy of Civil Engineering & Architecture
POPOV, Oleg	Odessa State Academy of Civil Engineering & Architecture
SYURKO, Sergey	Odessa Home Exhibition Center

POLAND

DAWCZYŃSKI, Szymon	Silesian University of Technology, Gliwice
GORSKI, Marcin	Silesian University of Technology, Gliwice
KRZYWON, Rafal	Silesian University of Technology, Gliwice

CUBA

WAINSHTOK RIVAS, Hugo	Universidad Tecnológica de La Habana

CANADA

FRIEDMAN, Avi	McGill University, Montreal, Quebec

USA

BUNZA, Matt	University of Oregon
GHANDEHARI, Masoud	New York University, NYC
JIN, Weihua	New York University, NYC

AUSTRALIA

SAMALI, Bijam	Western Sydney University, Sidney

SINGAPORE

NANETTI, Andrea	Nanyang Technological University. Singapore

GERMANY

PRIESEMANN, Thomas	University Jade Hochschule - Oldenburg
WESSEL, Thomas	University Jade Hochschule - Oldenburg

CHINA

CHENG, Shidan	Wuhan University
LAU, Stephen	Shenzhen University
SUNNIE S.Y. LAU	MIT Hong Kong Innovation Node, MIT
PALMIOLI, Andrea	City University of Hong Kong
SUN, Xiaonuan	Wuhan University

The NETHERLANDS

CHAN, Paul	TU Delft
VISSCHER, Henk	TU Delft

SWITZERLAND

MALTESE, Sebastiano	University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland

RUSSIA

MAKSIMOVA, Svetlana	Perm National Research Polytechnic University

JAPAN

NIGLIO, Olimpia	Hokkaido University, Faculty of Humanities and Human Sciences

INDEX

EDITOR 2

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE 3

CHAPTER INDEX 6

PROLOGUE 10

CHAPTER 1 *ECONOMY* 14

1.1.- COST ANALYSIS OF GREEN ROOF SYSTEMS 16
Júlia G. Borràs / Ángeles Mas Tomás / Carlos Lerma Elvira / Enrique Gil Benso / Jose Vercher Sanchis

1.2.- MANAGEMENT OF KNOWLEDGE IN ADMINISTRATIVE PROCESSES LINKED TO THE MAINTENANCE 28
Cristian García García / Javier Cárcel-Carrasco / Mary Vergara Paredes / Franklin Camacho

1.3.- MAINTENANCE ENGINEERING AS ASSET MANAGEMENT SUPPORT 38
Cristian García García / Javier Cárcel-Carrasco / Mary Vergara Paredes / Francklin Rivas Echeverria

1.4.- DECISION MAKING IN MAINTENANCE 48
Cristian García García / Mary Vergara Paredes / Javier Cárcel-Carrasco / Francklin Rivas Echeverria

1.5.- MODEL OF IMPLEMENTATION OF AN INVESTMENT PROJECT AT THE SILESIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 58
Krzysztof Wodarski / Seweryn Tchórzewski / Marcin Górski / Ewa Kamińska / Magdalena Ostrowska / Arkadiusz Dokupil / Albert Strzedulla / Szymon Szatka

1.6.- PROPTECH: TECHNOLOGY AS A NEW BARRIER TO ENTRY IN REAL ESTATE BROKERAGE 66
Juan Carlos Asensio-Soto / Elena Navarro-Astor

CHAPTER 2 *ENVIRONMENT* 76

2.1.- FROM WASTE TO CONSTRUCTIVE SYSTEM IN THE INFORMAL SETTLEMENT OF KIBERA (KENYA) 78
Quiteria Angulo Ibáñez / Elena Vecino Puente

2.2.- CONSTRUCTIVE AND SOCIAL REGENERATION WITH LOCAL MATERIALS IN ETHIOPIA 88
Quiteria Angulo Ibáñez / Marta Cotillas Mena

2.3.- MINI WIND POWER ENERGY AND NANO WIND POWER ENERGY IN ARCHITECTURAL INTEGRATION 98
Jaime Langa-Sanchís / Javier Cárcel-Carrasco

2.4.- ENERGY STORAGE SYSTEMS FOR THE DEVELOPMENT OF A RENEWABLE ENERGY GENERATION 108
Jaime Langa-Sanchís / Javier Cárcel-Carrasco

2.5.- ARCHITECTURE IN STONE GABIONS FOR SUSTAINABLE DESIGN 118
Giacomo Di Ruocco / Roberta Melella

2.6.- FOREIGN MATERIAL EXCLUSION APPLIED TO STRATEGIC, CRITICAL AND/OR SENSITIVE INDUSTRIAL BUILDING CONSTRUCTION 132
José Antonio Cárcel-Carrasco / Juan-Manuel Sánchez-Rodríguez / Javier Cárcel-Carrasco

2.7.- CLIMATE CHANGE AND BIOCLIMATIC ARCHITECTURE 142
Mercedes Almenar-Muñoz

2.8.- ENERGY STUDY OF A MASONRY BUILDING DESIGNED IN BIM IN THE HISTORICAL CENTER OF AVERSA 152
Imperiale Teresa D'Angiolella / Maria Rita Golia / Luis M. Palmero Iglesias

2.9.- CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE. OBJECTIVES FOR A MORE SUSTAINABLE MANAGEMENT. CONDEREFF PROJECT 170
Javier Cárcel-Carrasco / Elisa Peñalvo-López / José Ramón Albiol-Ibáñez / Vicente López-Mateu

2.10.- METHODOLOGY FOR ASSESSING THE IMPACT OF AGRICULTURE ACTIVITIES IN ENERGY SUSTAINABILITY OF THE VALENCIAN COMMUNITY 180
Elisa Peñalvo López / Javier Cárcel-Carrasco / Vicente León Martínez / Joaquín Montañana Romeu

2.11.- ENERGY PROFILE IN EUROPEAN SMEs AND MAIN BARRIERS IN IMPLEMENTING ENERGY EFFICIENCY MEASURES. EUROPEAN PROJECT SMEMPOWER 194
Elisa Peñalvo López / Javier Cárcel-Carrasco / Vicente León Martínez / Miriam Pérez Herrero

2.12.- USES AND EXPLOITATION OF COMMON UNDEVELOPED LAND: RENEWABLE ENERGIES AND THEIR IMPACT ON THE LANDSCAPE 208
Mª Emilia Casar Furió / Mª Jesús Romero Aloy

2.13.- AIR RENEWAL IN PUBLIC SPACES THROUGH COMPUTATIONAL DYNAMIC CALCULATION (CFD). IN THE CASE OF THE ETSIE-UPV CLASSROOMS 216
Antonio Manuel Romero Sedó / Paloma Arrué Burillo / Jordi Françesc Romero i Miquel / José Luís Martínez Andrés

CHAPTER 3 ***HERITAGE*** 226

3.1.- QUALITY AND STANDARDS, ITS IMPORTANCE IN THE PRELIMINARY STUDIES NECESSARY TO MAKE A CORRECT INTERVENTION PROPOSAL 228
E. Arias Valera / L. Osete Cortina / X. Mas-Barberà

3.2.- INTERVENTION PROPOSAL AND ENHANCEMENT OF THE CULTURAL HERITAGE KNOWN AS THE BENETÚSSER GATE OR FAVARA GATE. (VALENCIA, SPAIN) 238
E. Arias Valera / L. Osete Cortina / X. Mas-Barberà

3.3.- DIGITAL TECHNIQUES AND BIM APPLIED TO HERITAGE: ERMITA DE LOS SANTOS PATRONOS IN CARLET (Valencia) 248
Jorge García Valldecabres / Luis Cortés Meseguer / Concepción López González

CHAPTER 4 ***TECHNOLOGY*** 258

4.1.- IN-PLANE SEISMIC PERFORMANCE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BRACED WITH PLYWOOD-SHEATED SIP SHEARWALLS 260
Agustín Pérez García / Pau Vicent Piquero Cilla

4.2.- DIGITAL TECHNIQUES FOR THE STUDY OF COMPLEX VAULTS 278
Concepción López González / Roberta Spallone / Marco Vitali

4.3.- DIGITAL TECHNIQUES FOR INJURY ANALYSIS: SAN LORENZO CHURCH IN VALENCIA 288
Jorge García Valldecabres / Concepción López González

4.4.- JUST-IN-TIME TRAINING IN THE INDUSTRY STRATEGIC, CRITICAL AND/OR SENSITIVE 298
José-Antonio Cárcel-Carrasco / Juan-Manuel Sanchez-Rodriguez / Javier Cárcel-Carrasco

4.5.- FOUNDATIONS OF WIND TURBINES, WITHSTANDING HORIZONTAL AND TORSIONAL LOADS 308
Gennadiy Plahotny / Olena Chernieva / Lilia Chorna

4.6.- INOX VOLTAMMETRIC SENSORS FOR THE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES MONITORING 314
Ana Martínez-Ibernón / Lina Alejandra Delgado Martínez / José Manuel Gandía Romero / Rafael Calabuig Pastor

4.7.- THEORETICAL STUDY OF USING ISOLATED SENSORS FOR CORROSION ANALYSIS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES 328
Josep Ramon Lliso Ferrando / Juan Soto Camino / Miguel Ángel Blanco Duarte

4.8.- NON-STEADY STATE CHLORIDE DIFFUSION COEFFICIENT ANALYSIS IN SEVERAL CONCRETE MIX DESIGNS THROUGH THE prCEN/TS 12390-11 TEST METHOD 338
Josep Ramon Lliso-Ferrando / Manuel Valcuende Payá / Isabel Gasch

4.9.- DYNAMIC CALCULATION EQUATIONS GOVERNING COMMONLY EMPLOYED STRUCTURAL CALCULATION SOFTWARE 348
Javier Pereiro Barceló / José Luis Bonet Senach / Francisco de Borja Varona Moya / Óscar Galao Malo

4.10.- LONGITUDINAL SHEAR STUDY IN FRC T-BEAMS 358
Javier Pereiro Barceló / José Luis Bonet Senach / José Antonio López-Juárez / Francisco de Borja Varona Moya

4.11.- STUDY OF THE INFLUENCE OF CONCRETE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH GRAMMAR VINYLESTER-POLIURETHANE COMPOSITES VS ACCELERATED TESTS 368
Arsenio Navarro Muedra

4.12.- HYBRID FRP BARS FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING 378
Eryk Goldmann / Marcin Górski

4.13.- DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A RADIATIVE COOLING AND SOLAR HEATING SYSTEM FOR COMBINED HEAT AND COLD PRODUCTION. PHASE 1 386
Albert Castell / Marc Medrano / Ingrid Martorell / Cristian Solé / Lídia Rincón / Andrea Salandin / Ariadna Carrobé / Roger Vilà

4.14.- MONITORING POLLUTION TO PROTECT VULNERABLE PEOPLE IN OUTDOOR ENVIRONMENT 396
Luca Rampini / Ania Khodabakhshian / Tiziana Poli / Fulvio Re Cecconi

4.15.- SELECTION OF CRANE IN WEB ENVIRONMENT BASED ON VISIBILITY ANALYSIS 406
Danylo Shkundalov / Tatjana Vilutienė

CHAPTER 5 *HUMAN RESOURCES* 418

5.1.- GENDER REPRESENTATION IN A BUILDING ENGINEERING JOURNAL: A PHOTOGRAPHIC ANALYSIS 420
Ana Isabel Granada Morales / Elena Navarro Astor

5.2.- BUILDING ENGINEERING. INFLUENCING FACTORS ON OCCUPATIONAL PREFERENCES 430
Margarita Infante-Perea / Elena Navarro-Astor / Marisa Román-Onsalo

5.3.- TRAINING IN CONSTRUCTION THROUGH OPEN EDUCATIONAL RESOURCES. CONDAP PROJECT 440
Javier Cárcel-Carrasco / Elisa Peñalvo-López / Luis Palmero-Iglesias / José Ramón Albiol-Ibáñez

5.4.- DEVELOPMENT OF TEACHING MATERIALS FOR THE TRAINING OF PROFESSIONALS IN THE WOOD CONSTRUCTION SECTOR. UPWOOD PROJECT 450
Javier Cárcel-Carrasco / Elisa Peñalvo-López / Luis Palmero-Iglesias / José Ramón Albiol-Ibáñez

5.5.- THE METHOD OF LEARNING PILLS FOR LEARNING STUDENTS IN THE CONSTRUCTION AREA 460
Javier Cárcel-Carrasco / Graziella Bernardo / Luis Palmero-Iglesias / Carolina Aparicio-Fernández

PRÓLOGO DIRECTOR ETS de INGENIERÍA de EDIFICACIÓN

Este 2021 ha sido un año muy especial para la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de Valencia, pues hemos cumplido 50 años de vida, todo un acontecimiento a celebrar, reviviendo esa historia y edificando sobre ella nuestro futuro. Y, en esta historia, EXCO, el Salón Tecnológico de la Construcción, está siendo un hilo conductor que une, vertebra y nos alienta, desde hace décadas, para que nuestros sueños no tengan límites.

Han sido muchos años de trabajo, desvelos y esfuerzos compartidos; compañeros que lideraron cada edición con entusiasmo y convencimiento. Y, en estas últimas ediciones, el director de EXCO, profesor José Ramón Albiol, ha posicionado este evento a nivel internacional, con unos resultados tan espectaculares como motivadores. Así lo hemos podido comprobar en esta EXCO 2021, pudiendo concluir que, una vez más, hemos superado los objetivos marcados, aun en estos inciertos tiempos de pandemia.

Por lo que respecta a la "Exposición de Tecnología e Investigación en Edificación", su comité científico internacional seleccionó un total de 92 paneles y 42 artículos, lo que sitúa este certamen en un referente para los investigadores del sector de la edificación, tanto nacionales como de otros países. De igual modo, resaltar la calidad de las conferencias impartidas, el alto nivel de los conferenciantes y el interés de las actividades desarrolladas.

Una de nuestras principales aspiraciones ha sido su internacionalización y que las 60 universidades participantes pudieran mostrar sus investigaciones en la exposición, por lo que, a lo largo de este año, será itinerante por algunas de estas instituciones internacionales.

Por último, quiero transmitir, en nombre de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de la Universitat Politècnica de València, el agradecimiento a CEVISAMA por el apoyo a este evento, y como antes he mencionado, al profesor José Ramón Albiol Ibáñez y a todo su equipo que, con su trabajo y dedicación, lo han hecho posible.

Y ahora, seguimos convencidos de que EXCO 2022 superará de nuevo las expectativas y disfrutaremos de este prestigiado evento.

Dr. Fernando José Cos-Gayón López
Director de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación

PROLOGUE ETS DIRECTOR of BUILDING ENGINEERING

This 2021 has been a very special year for the ETS of Building Engineering of Valencia, as we have completed 50 years of life, an event to celebrate, reliving that history and building our future on it. And, in this story, EXCO, the Construction Technology Exhibition, is being a common thread that unites, backs up and encourages us, for decades, so that our dreams have no limits.

They have been many years of work, care and shared efforts; colleagues who led each edition with enthusiasm and conviction. And, in recent editions, the director of EXCO, Professor José Ramón Albiol, has positioned this event internationally, with results that are as spectacular as they are motivating. This is how we have been able to verify this in this EXCO 2021, being able to conclude that, once again, we have exceeded the objectives set, even in these uncertain times of pandemic.

Regarding the "Exhibition of Technology and Research in Building", its international scientific committee selected a total of 92 panels and 42 articles, which places this event in a benchmark for researchers in the building sector, both national and from other countries. Similarly, highlight the quality of the lectures given, the high level of the speakers and the interest of the activities carried out.

One of our main aspirations has been its internationalization and that the 60 participating universities could show their research in the exhibition, which is why, throughout this year, it will be traveling through some of these international institutions.

Finally, I would like to convey, on behalf of the ETS of Building Engineering of the Polytechnic University of Valencia, the gratitude to CEVISAMA for supporting this event, and as I mentioned before, to Professor José Ramón Albiol Ibáñez and all his team that, with their work and dedication, have made it possible.

And now, we remain convinced that EXCO 2022 will once again exceed expectations and we will enjoy this prestigious event.

Dr. Fernando José Cos-Gayón López
Director of the ETS of Building Engineering

PROLOGUE DIRECTOR EXCO'21

The Faculty of Building Engineering of the UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA - SPAIN, organized on May 26th to 28th, 2021, "The XXXV Construction Technology Exhibition" EXCO'21 and the International Itinerant Exhibition "Research in Building Engineering".

Conferences are scheduled in UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA - SPAIN, the speakers are national and international of recognized prestige from Europe, Asia and America. These conferences are aimed at professionals and students of the UPV to broaden their knowledge and experiences.

EXCO'21 promotes the entrepreneurship of the young UPV generations, participation in conferences.

The International Itinerant Research Exhibition EXCO'21 has the collaboration of 60 Universities from America, Europe, Africa, Asia and Oceania. Promoting collaboration between institutions and professors at the international level.

It fosters interdisciplinary collaboration of the professor staff within the UPV with 60 International Universities; It has the participation of 9 departments and 8 research institutes of the UPV in EXCO'21.

The participating entities are:

Universities:

1. *Universitat Politècnica de València, España.*
2. *Politecnico di Milano, Italia.*
3. *Mimar Sinan Fines Arts University, Istanbul, Turkey.*
4. *Nottingham Business School, England.*
5. *Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania.*
6. *Universidad de Costa Rica*
7. *Università degli Studi di Basilicata, Matera, Italia.*
8. *Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba.*
9. *Università degli Studi Firenze, Italia*
10. *Università di Pavia, Italia.*
11. *Odessa State Academy of Civil Engineering & Architecture, Odessa, Ukraine*
12. *Università di Salerno, Italia.*
13. *Silesian University of Technology, Politechnika Śląska, Gliwice, Poland.*
14. *University of British Columbia, Vancouver, Canada.*
15. *Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, España.*
16. *Florida A&M University, Florida, USA.*
17. *Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.*
18. *Universidad de la República (UdelaR) de Uruguay.*
19. *Universidad John F. Kennedy, Argentina.*
20. *Universidad de Castilla-La Macha, España.*
21. *Universidad de Granada, España.*
22. *Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Napoli.*
23. *Politecnico di Bari, Italia.*
24. *Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", Italia.*
25. *Hanze University of Applied Sciences, Groningen. Nederland.*
26. *Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg, Germany.*
27. *New York University, Tandon School of Engineering. USA.*
28. *McGill University, Canada*
29. *Nanyang Technological University, Singapore.*
30. *University of New South Wales, Sydney, Australia.*

31. *Università di Pisa, Italia.*
32. *Universidad de Ibagué, Colombia.*
33. *Beijing Yong Shan Media Co., Ltd. Pekin*
34. *Università degli Studi dell'Aquila, Italia.*
35. *Universitat Jaume I, Castellón, España.*
36. *University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland*
37. *Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement /ETH Zürich*
38. *University North, Varaždin, Croacia*
39. *South Ukrainian National Pedagogical University, Odessa, Ukraine.*
40. *Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine.*
41. *Universitat de València, Spain.*
42. *Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia*
43. *University of Cape Town, South Africa.*
44. *National University of Singapore.*
45. *TU Delft, The Netherlands.*
46. *Politecnico di Torino, Italy.*
47. *Wuhan University, Wuhan, China.*
48. *University of Oregon, USA.*
49. *City-University of Hong Kong.*
50. *Shenzhen University School of Architecture, Shenzhen, China.*
51. *Hokkaido University, Sapporo, Japan*
52. *Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.*
53. *Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.*
54. *Universidad Católica de Valencia. España.*
55. *Universidad UTE. Quito. Ecuador.*
56. *Universidad de Napoles Federico II, Napoles, Italy.*
57. *Telematic University Pegaso, Italy.*
58. *University of Guanajuato, México.*
59. *University of La Salle Bajío, México*
60. *Universidad Jesuita de Guadalajara, ITESO, México*

Thank you all for making EXCO possible.

All the best for EXCO'22!

Best Regards

Dr. José R. Albiol-Ibáñez

Vice Dean International Relations, Employment, Business Cathedra & Entrepreneurship

Director EXCO'21

ETS Building Engineers - Building 1B

Camino de Vera S/N 46022 Valencia SPAIN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

CHAPTER 1

ECONOMY

CAPÍTULO 1 ***ECONOMÍA***

ANÁLISIS DE LOS COSTES DE LOS SISTEMAS DE CUBIERTA AJARDINADA

COST ANALYSIS OF GREEN ROOF SYSTEMS

Júlia G. Borràs
Investigadora en el Dpto. Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Arquitecta, Estudiante de Doctorado en la UPV. E-mail: jugarbor@csa.upv.es
Researcher in the Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València. Architect, PhD student UPV. E-mail: jugarbor@csa.upv.es

Ángeles Mas Tomás
Investigadora en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesora Titular de Universidad, Arquitecta. Doctora Arquitecta por la UPV. E-mail: amas@csa.upv.es
Researcher in the Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València. Senior Lecturer, Architect. PhD Architect by UPV. E-mail: amas@csa.upv.es

Carlos Lerma Elvira
Investigador en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Titular de Universidad, Arquitecto, Master en Conservación del Patrimonio Arquitectónico. Doctor Arquitecto por la UPV. E-mail: clerma@csa.upv.es
Researcher in the Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València. Senior Lecturer, Architect, Master in Heritage. PhD Architect by UPV. E-mail: clerma@csa.upv.es

Enrique Gil Benso
Investigador en el Departamento de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Titular de Universidad, Arquitecto. Doctor Arquitecto por la UPV. E-mail: egil@upv.es
Researcher in the Dept. of Continuous Medium Mechanics and Theory of Structures; Universitat Politècnica de València. Senior Lecturer, Architect. PhD Architect by UPV. E-mail: egil@upv.es

Jose Vercher Sanchis
Investigador en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Titular de Universidad, Arquitecto. Doctor Arquitecto por la UPV. E-mail: jvercher@csa.upv.es
Researcher in the Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València. Senior Lecturer, Architect. PhD Architect by UPV. E-mail: jvercher@csa.upv.es

Abstract

The study of the thermal envelope of a building is of vital importance when it comes to achieving significant energy savings and lower energy consumption, an issue of great importance in today's society. The green roofs are proposed as a solution to improve the thermal and energy performance, as well as the environmental factor, of the building, although their relevance is greater the lower the prior insulation of the supporting structure. That is why the importance of green roofs is greater in the field of rehabilitation. In this area, not only will it be important to study the energy performance of green roofs, widely demonstrated, but variables such as weight and constructive cost come into play, drastically determining the feasibility of the different solutions. A study of the construction cost of 9 roof models, with different alternatives and possible solutions, makes it possible to assess the economic factor in the use of this type of roof more objectively. Extensive green roof models have a higher cost than a conventional gravel-finished roof, approximately 1.6 times. An intensive green roof has a cost up to 3 times higher than a gravel roof. The economic perspective is important to make decisions in choosing the best constructive solution. In addition, it should never be forgotten that all the benefits of this type of roofs are not only economic, but also the social and environmental aspect must always be valued.

Keywords
Green roof, Construction cost, Rehabilitation, Thermal envelope, Energy saving.

Introducción

Una de las principales cuestiones, hoy en día, en todos los ámbitos de la sociedad es la problemática del consumo energético. Por un lado, resulta verdaderamente importante reducir el consumo de energía de origen fósil, sustituyéndola por energía sostenible o verde, es decir, energía obtenida a partir de fuentes que no añaden carbono a la atmósfera o aquella que puede ser extraída, producida o consumida sin impacto en el medio ambiente, respectivamente (Mohammadi 2016). En España, la principal fuente de energía respecto al consumo total de energía final es el petróleo (51%), mientras que fuentes de energía renovables o verdes como el biofuel o la energía geotérmica y solar solo representan un 6.3% y un 0.4% (Revista Retina 2019), respectivamente (imagen 1).

Dentro del ámbito de la arquitectura, cabe destacar que, en la distribución del consumo de energía final en España, los edificios residenciales consumen entorno a un 20% del total (Revista Retina 2019). Proyectos como el del grupo estadounidense Architecture 2030, plantean, a través de su guía Desafío 2030, conseguir que todos los edificios (de nueva construcción o proyectos de rehabilitación integral) se diseñen con la intención de reducir el consumo de energía de origen fósil de manera progresiva hasta conseguir que todos los edificios construidos sean carboneutrales para 2030 (imagen 2), es decir que no necesiten ningún tipo de energía de origen fósil ni para su construcción ni posterior uso (Ching 2015).

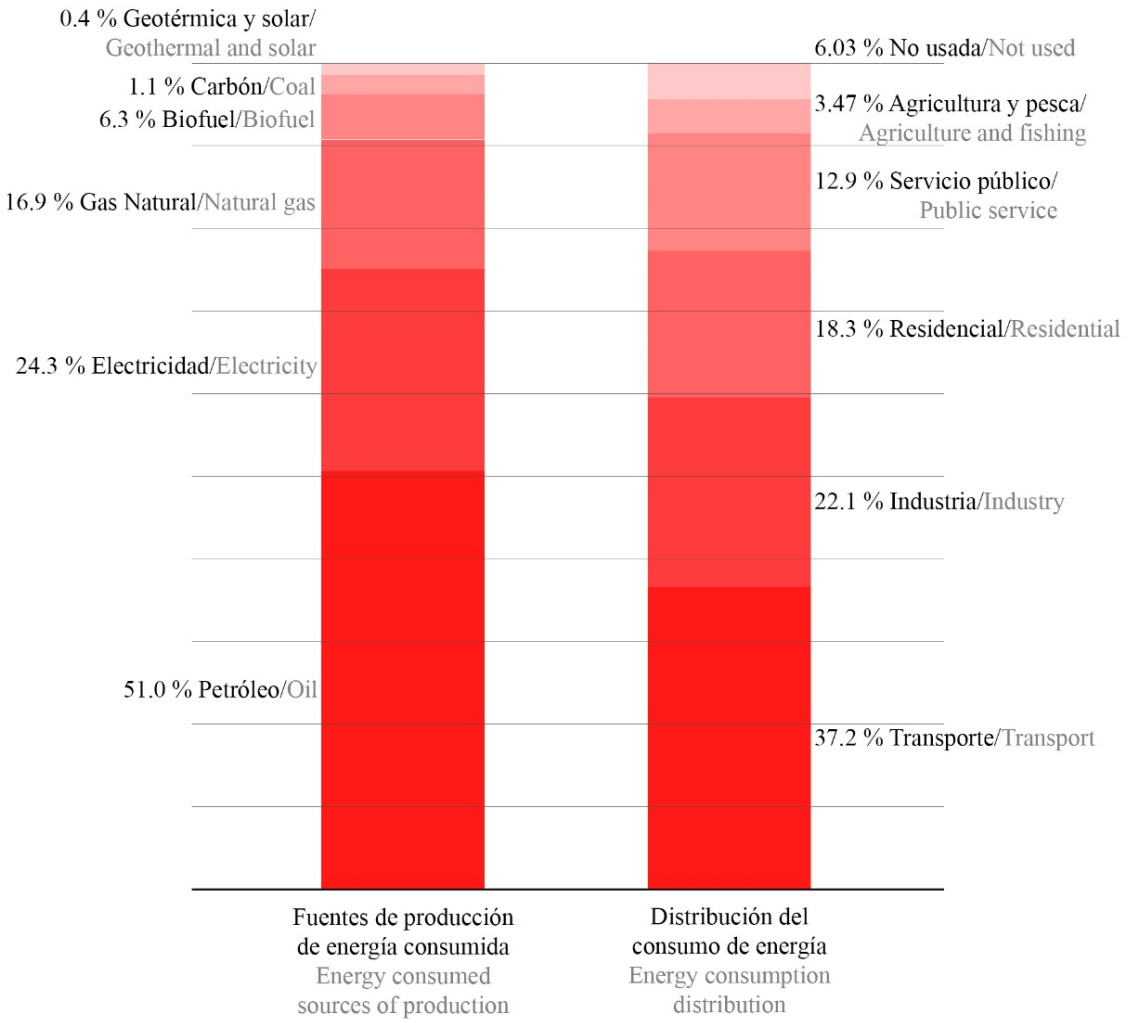


Image 1. Energy sources and consumption in Spain.

Introduction

One of the main issues today, in all areas of society, is the problem of energy consumption. On the one hand, it is truly important to reduce the consumption of energy of fossil origin, replacing it with sustainable or green energy, that is, energy obtained from sources that do not add carbon to the atmosphere or that which can be extracted, produced or consumed without impact on the environment, respectively (Mohammadi 2016). In Spain, the main source of energy with respect to total final energy consumption is oil (51%), while renewable or green energy sources such as biofuel or geothermal and solar energy only represent 6.3% and 0.4% (Revista Retina 2019), respectively (image 1).

Within the field of architecture, it should be noted that, in the distribution of final energy consumption in Spain, residential buildings consume around 20% of the total (Revista Retina 2019). Projects such as Challenge 2030, of the American group Architecture 2030, propose to achieve that all buildings (new construction or comprehensive rehabilitation projects) will be designed with the intention of reducing the consumption of fossil-based energy in a progressive until all the built buildings will be carbon neutral by 2030 (image 2), that is, they will not need any type of fossil-based energy for their construction or subsequent use (Ching 2015).

But the reduction of energy consumption must focus, beyond the promotion of the use of renewable energies, on the reduction of the use of any energy, since "the most ecological energy is that which is not consumed" (DANOSA España 2014). Considering values such as of the total energy used in buildings, between 10% and 50% of this energy is due to air losses through the envelope (Lerma 2018) or that the roofs concentrate 70% of heat losses in a building (Shao 2018), it is evident that a more careful and studied design of a building envelope can lead to great savings in energy consumption.

Within the field of sustainable design, the focus should be on, not only new buildings, which are subject to current regulation that it is increasingly restrictive regarding the insulation of the building envelope and the reduction of thermal bridges and infiltrations of air (Ministry of Development 2019), but on all those existing buildings with little or no insulation in enclosures and roofs. According to data from the 2001 INE Census of Buildings, almost 6 million existing buildings in the Spanish housing stock were built before 1980 (IDAE 2007), the year following the approval of the first law that refers to insulation of the envelope in buildings (Presidencia del Gobierno 1979). According to these data, with a total or partial reform of these buildings, the energy demand of their envelope can be reduced by around 75% (IDAE 2007).

If we focus on the roof, the location in the thermal envelope where we have commented that the main heat losses are concentrated, the use of green roofs implies a series of thermal and environmental benefits of special relevance. It has been shown in several studies that, in well-insulated buildings, the installation of a green roof does not substantially improve the energy performance of the building, but in buildings with little or no insulation in the structure, the green roof can reduce energy consumption of heating by 45%, while in moderately insulated buildings the savings would be only 13% (Castleton 2010).

The use of green roofs within the field of rehabilitation implies a detailed study, not only of their thermal benefits, but of technical aspects related to the weight and construction cost of the solutions to be used, considering that the most suitable solution in this aspect will be one that its own weight can be supported by the structure to be rehabilitated and whose cost allows the user or users of the building to consider the roof as a viable option. The combination of construction cost, weight and energy savings will make it possible to decide in a more realistic way which is the most suitable green roof model for each project.

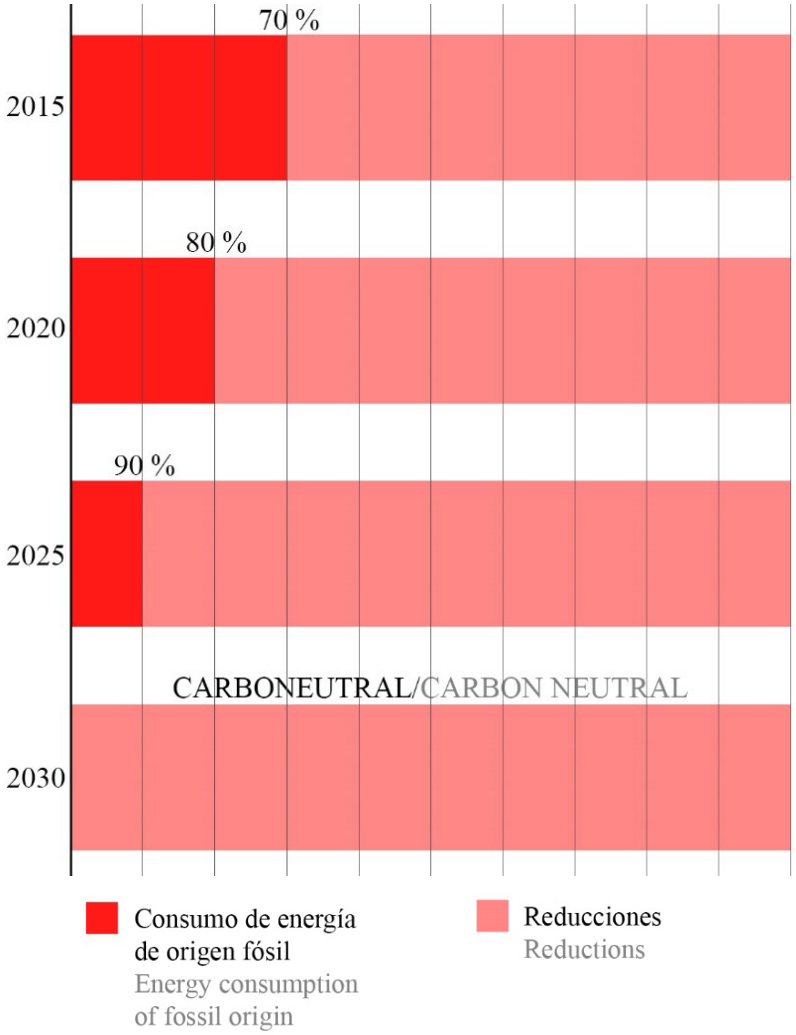


Image 2. Challenge 2030.

Pero la reducción del consumo energético debe centrarse, más allá del fomento del uso de energías renovables, en la disminución del uso de cualquier energía, ya que "la energía más ecológica es aquella que no se consume" (DANOSA España 2014). Considerando valores tales como que, del total de energía empleada en edificios, entre un 10% y un 50% de esta energía se debe a pérdidas de aire por la envolvente (Lerma 2018) o que las cubiertas concentran el 70% de pérdidas de calor en un edificio (Shao 2018), resulta evidente que un diseño más cuidadoso y estudiado de la envolvente de un edificio puede implicar grandes ahorros en el consumo de energía.

Dentro del campo del diseño sostenible se debe centrar la mirada, no solo en los edificios de nueva construcción, que se encuentran sujetos a la normativa actual, cada vez más restrictiva respecto al aislamiento de la envolvente del edificio y a la reducción de puentes térmicos e infiltraciones de aire (Ministerio de Fomento 2019), sino en todos aquellos edificios existentes con poco o inexistente aislamiento en cerramientos y cubiertas. De acuerdo con datos del Censo de Edificios del INE del 2001, casi 6 millones de edificios existentes en el parque de viviendas español han sido construidos antes del 1980 (IDAE 2007), año siguiente a la aprobación de la primera ley que hace referencia al aislamiento de la envolvente en edificios (Presidencia del Gobierno 1979). De acuerdo con estos datos, con una reforma total o parcial de estos edificios se puede conseguir que la demanda energética de su envolvente se reduzca entorno a un 75% (IDAE 2007).

Si nos centramos en la cubierta, localización donde hemos comentado que se concentran las principales pérdidas de calor en la envolvente térmica, el uso de cubiertas ajardinadas implica una serie de beneficios térmicos y medioambientales de especial relevancia. Se ha demostrado en varios estudios que, en edificios bien aislados, la instalación de una cubierta ajardinada no mejora sustancialmente el comportamiento energético del edificio, pero en edificios con poco o nulo aislamiento en la estructura la cubierta ajardinada puede llegar a disminuir el consumo de energía de calefacción en un 45%, mientras que en edificios aislados moderadamente los ahorros serían solo del 13% (Castleton 2010).

El uso de cubiertas ajardinadas dentro del campo de la rehabilitación implica un estudio pormenorizado, no solo de sus beneficios térmicos, sino de aspectos técnicos relacionados con el peso y el coste de construcción de las soluciones a emplear, teniendo en cuenta que la solución más idónea en este aspecto será aquella que posea un peso propio que pueda ser sustentado por la estructura a rehabilitar y cuyo coste permita al usuario o usuarios del edificio considerar la cubierta como una opción viable. La combinación del coste de construcción, peso y ahorro energético permitirán decidir de manera más realista cual es el modelo de cubierta ajardinada más adecuada para cada proyecto.

Metodología

Las cubiertas ajardinadas se dividen en tres grandes grupos: extensivas, semi-intensivas e intensivas. La principal diferencia entre ellas es el espesor de substrato y, por lo tanto, el tipo de vegetación que soportan, la relación materia orgánica-inorgánica en el substrato, la capacidad de almacenamiento de agua, el peso del sistema o el coste de construcción, entre otros.

Las cubiertas extensivas son aquellas con espesores de substrato entre 8 y 15 cm, aunque en climas cálidos y con pocas precipitaciones, como es el caso del clima Mediterráneo, se recomienda que los espesores nunca sean inferiores a 10 cm. Las semi-intensivas presentan espesores de substrato entre 15 y 30 cm (Ajuntament de Barcelona 2015), y en cubiertas intensivas el espesor del substrato puede variar entre 30 cm y 100 cm, llegando en ocasiones a los 200 cm, aunque los valores medios habituales se sitúan en los 60 cm (Íñigo 2017).

La cubierta ajardinada, sea del tipo que sea, se presenta como un sistema multicapa cuyos elementos desempeñan cada uno una función propia y característica. Considerando en este caso el estudio de cubiertas planas ajardinadas invertidas (asegurando así una mayor protección térmica de la lámina impermeable y una mejora de su durabilidad (Liu 2003)) el orden de las capas sobre la estructura soporte es el siguiente: formación de pendiente, mortero de nivelación, lámina impermeable, lámina antiraíces, material aislante, capa drenante, lámina filtrante, substrato y vegetación (imagen 3). En caso de ser necesarias, como se verá más adelante, se emplean capas separadoras y antipunzonantes entres los elementos principales de la cubierta.

La concepción de la cubierta como un sistema de capas nos permite estudiar el coste de construcción de cada una de ellas, realizando tantas combinaciones como se desee. En este caso se ha planteado el estudio de una cubierta de referencia sin ajardinar (M1), con un acabado de gravas, y de 8 modelos de cubiertas ajardinadas (M2-M9) que incluyen ejemplos de los tres grupos y variaciones respecto al espesor de material aislante y al tipo de capa drenante.

Las propiedades y características de los diferentes materiales empleados en las cubiertas se determinan en la Tabla 1.

Methodology

The green roofs are divided into three large groups: extensive, semi-intensive and intensive. The main difference between them is the thickness of the substrate and, therefore, the type of vegetation they support, the organic-inorganic matter ratio in the substrate, the water storage capacity, the weight of the system or the construction cost, among others.

Extensive roofs are those with substrate thicknesses between 8 and 15 cm, although in hot climates and with little rainfall, as is the case of the Mediterranean climate, it is recommended that the thicknesses never be less than 10 cm. The semi-intensive ones have substrate thicknesses between 15 and 30 cm (Ajuntament de Barcelona 2015), and in intensive roofs the thickness of the substrate can vary between 30 cm and 100 cm, sometimes reaching 200 cm, although the usual average values they are at 60 cm (Íñigo 2017).

The green roof, of whatever type, is presented as a multilayer system whose elements each perform their own and characteristic function. Considering in this case the study of inverted green flat roofs (thus ensuring greater thermal protection of the waterproof sheet and an improvement in its durability (Liu 2003)) the order of the layers on the support structure is as follows: slope formation, leveling mortar, waterproof sheet, anti roots sheet, thermal insulator, drainage layer, filter sheet, substrate and vegetation (image 3). If necessary, as will be seen later, separating and anti-pointed layers are used between the main elements of the roof.

The conception of the roof as a system of layers allows us to study the construction cost of each of them, making as many combinations as desired. In this case, the study of a reference roof without landscaping (M1), with a gravel finish, and 8 models of green roofs (M2-M9) that include examples of the three groups and variations regarding the thickness of the insulating material and the type of drainage layer.

The properties and characteristics of the different materials used in the roofs are determined in Table 1.

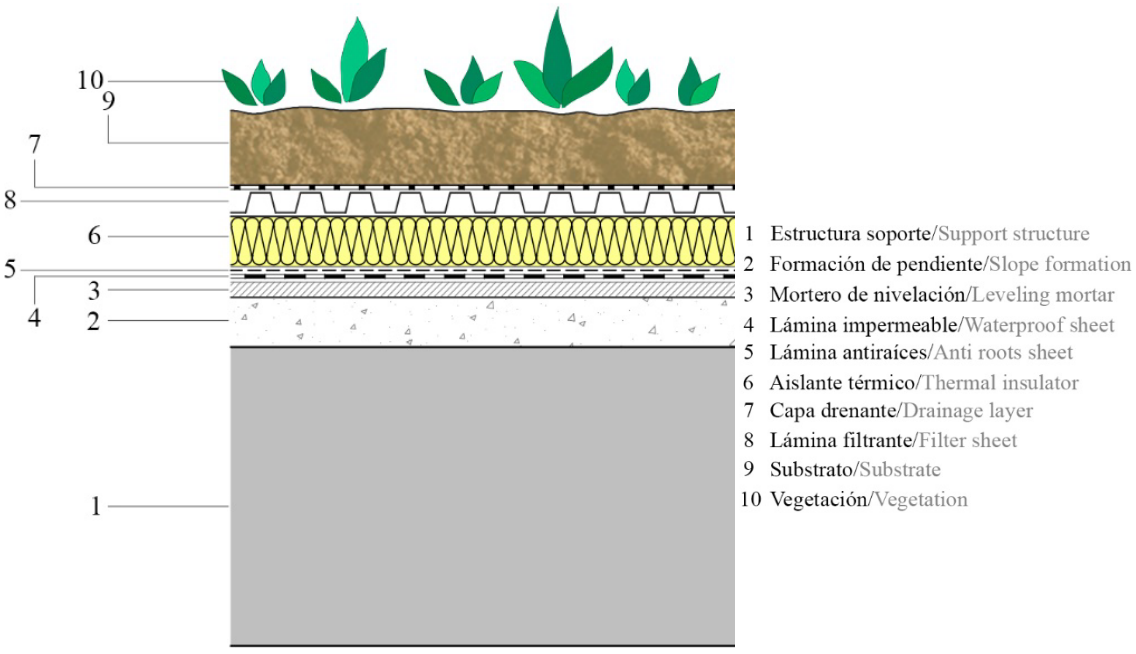


Image 3. Layers of an inverted green roof.

Tabla 1 Capas de las cubiertas ajardinadas: materiales y propiedades.

Table 1 Layers of green roofs: materials and properties.

CAPA/LAYER	MATERIAL/MATERIAL	ESPESOR/ THICKNESS (m)	DENSIDAD/ DENSITY (kg/m^3)	MASA/ MASS (kg/m^2)
Formación de pendiente/ Slope formation	Hormigón ligero con arcilla expandida[1]/ Lightweight concrete with expanded clay	0.100	1800-2000[2]	-
Mortero de nivelación/ Leveling mortar	Mortero de cemento M5[1]/ Cement mortar M5	0.030	190[2]	-
Lámina impermeable/ Waterproof sheet	EPDM monocapa/ EPDM monolayer	0.0012[3]	-	1.40[3]
Lámina antiraíces/ Anti roots sheet	Geotextil de polietileno/ Polyethylene geotextile	0.004	0.30[4]	-
Capa separadora/ Separating layer	Geotextil de fibra de vidrio/ Fiberglass geotextile	0.001	0.10[5]	-
Aislante térmico/ Thermal insulation	Poliestireno extruido/ Extruded polystyrene (XPS)	Variable/ Variable	-	-
Capa drenante/ Drainage layer (1)	Panel nodular de poliolefina (ppal. polietileno)/ Polyolefin nodular panel (prin. polyethylene)	0.040	-	1.90[4]
Capa antipunzonante/ Anti-pointed layer	Geotextil de poliéster/ Polyester geotextile	0.001	0.20[5]	-
Capa drenante/ Drainage layer (2)	Grava filtrante/Filter gravel	0.060	1300*[4]	-
Lámina filtrante/ Filter sheet	Geotextil de poliéster/ Polyester geotextile	0.001	0.30[5]	-
Substrato/Substrate	Cerámica, otros componentes minerales, compost y turba rubia/ Ceramic, other mineral components, compost and white peat	Variable/ Variable	1400-1500*[4]	-
Vegetación/Vegetation	Plantas con cepellón plano/ Flat-root ball plants	Variable/ Variable	-	-

*Densidad saturado de agua/Water saturated density

[1](CYPE Ingenieros S.A.) / [2](Ministerio de Vivienda 2010) / [3](DANOSA España) / [4](ZinCo Cubiertas Ecológicas S.L.) / [5](DANOSA España 2020).

Resultados

Los modelos M2 a M9 escogidos pretenden abarcar la amplia gama de cubiertas ajardinadas de manera sencilla, incluyendo espesores de substrato desde los 10 cm hasta los 60 cm y el uso de diferentes opciones de capa drenante (panel nodular plástico y materiales granulares). El diferente espesor en la capa aislante se diseña en función de las exigencias del DB-HE Ahorro de Energía del CTE (Ministerio de Fomento 2019), considerando la implantación de los modelos en València y manteniendo siempre un espesor mínimo de 3 cm incluso en aquellos casos en los que, gracias al substrato, no se necesite material aislante según los cálculos.

A continuación, se describen de manera desglosada los costes orientativos de 3 modelos representativos (imagen 4, 5 y 6), y los costes totales de los 9 modelos estudiados (tabla 2). Todos los costes aquí descritos incluyen mano de obra y material.

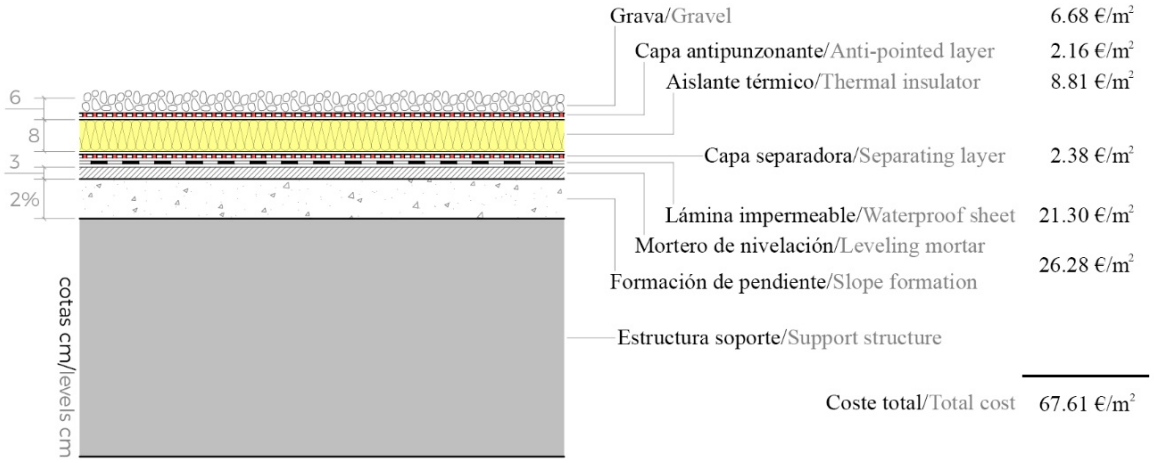


Imagen 4. Coste orientativo desglosado M1.

Image 4. Indicative breakdown cost M1.

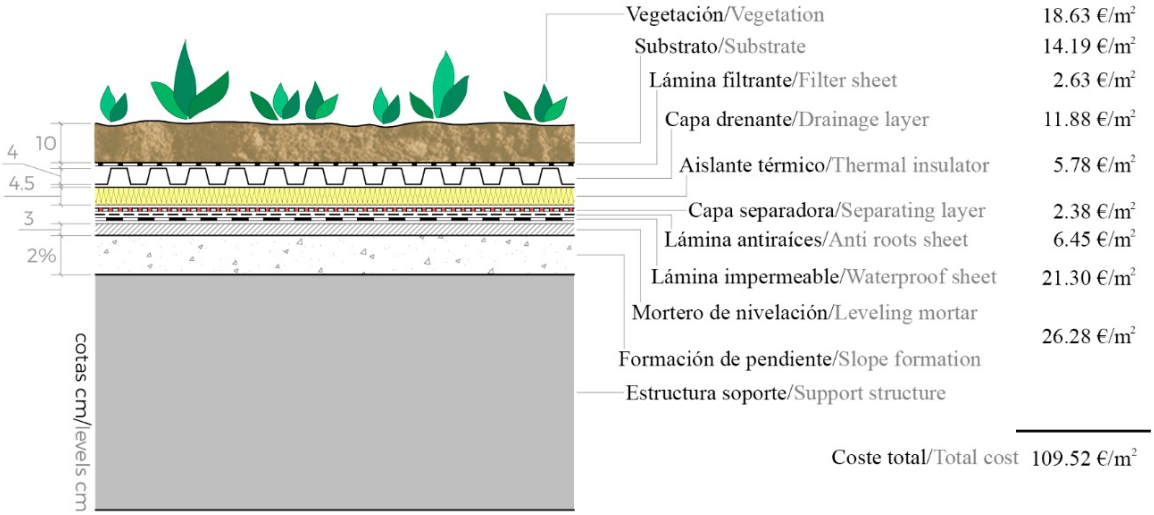


Imagen 5. Coste orientativo desglosado M2.

Image 5. Indicative breakdown cost M2.

Results

The chosen models M2 to M9 aim to cover the wide range of green roofs in a simple way, including substrate thicknesses from 10 cm to 60 cm and the use of different drainage layer options (plastic nodular panel and granular materials). The different thickness of the thermal insulator is designed according to the requirements of the DB-HE Energy Saving of the CTE (Ministerio de Fomento 2019), considering the implementation of the models in Valencia, and always maintaining a minimum thickness of 3 cm even in those cases in which, thanks to the substrate, no insulation material is required according to the calculations.

The indicative costs of 3 representative models (image 4, 5 and 6), and the total costs of the 9 models studied (Table 2) are described below in a detailed manner. All costs described here include labour and material.

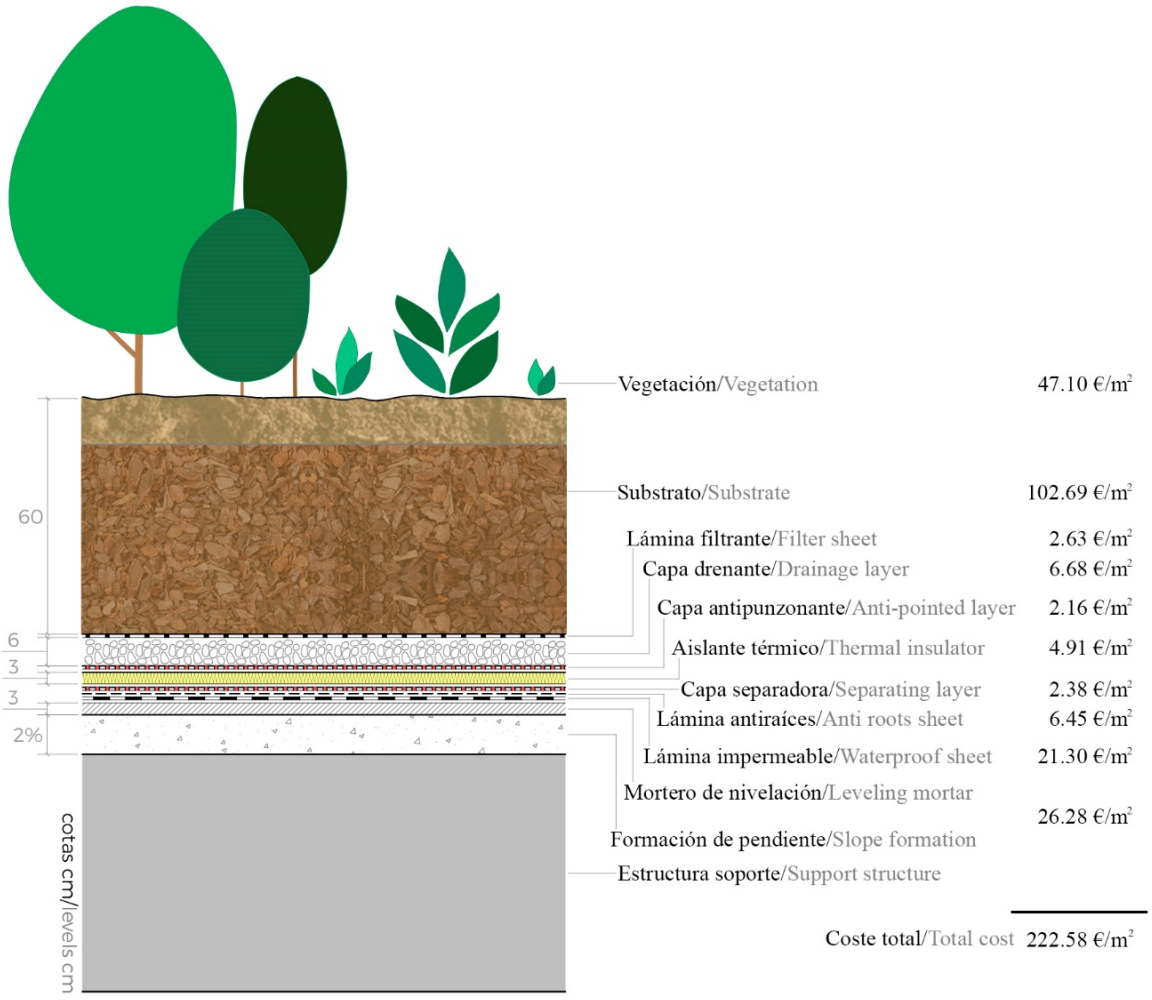


Imagen 6. Coste orientativo desglosado M9.

Image 6. Indicative breakdown cost M9.

Tabla 2 Modelos estudiados y coste orientativo del sistema.

Table 2 Models studied and indicative cost of the system.

MODELO/ MODEL	DESCRIPCIÓN/DESCRIPTION	COSTE/ COST (€/m^2)
M1	Cubierta con acabado de grava (aislante=8 cm)/ Gravel finish roof (insulation=8 cm)	67.61
M2	Cubierta ajardinada extensiva con capa drenante de paneles nodulares (aislante=4.5 cm; substrato=10 cm)/ Extensive green roof with drainage layer of nodular panels (insulation=4.5 cm; substrate=10 cm)	109.52
M3	Cubierta ajardinada semi-intensiva (de poco espesor) con capa drenante de paneles nodulares (aislante=3 cm; substrato=20 cm)/ Semi-intensive green roof (thin) with draining layer of nodular panels (insulation=3 cm; substrate=20 cm)	134.03
M4	Cubierta ajardinada semi-intensiva (máximo espesor) con capa drenante de paneles nodulares (aislante=3 cm, substrato=30 cm)/ Semi-intensive green roof (maximum thickness) with draining layer of nodular panels (insulation=3 cm, substrate=30 cm)	162.13
M5	Cubierta ajardinada intensiva con capa drenante de paneles nodulares (aislante=3 cm; substrato=60 cm)/Intensive green roof with drainage layer of nodular panels (insulation=3 cm; substrate=60cm)	225.62
M6	Cubierta ajardinada extensiva con capa drenante de materiales granulares (aislante=5 cm; substrato=10 cm)/ Extensive green roof with drainage layer of granular materials (insulation=5 cm; substrate=10 cm)	106.91
M7	Cubierta ajardinada semi-intensiva (de poco espesor) con capa drenante de materiales granulares (aislante=3 cm; substrato=20 cm)/ Semi-intensive green roof (thin) with draining layer of granular materials (insulation=3 cm; substrate=20 cm)	130.99
M8	Cubierta ajardinada semi-intensiva (máximo espesor) con capa drenante de materiales granulares (aislante=3 cm; substrato=30 cm)/ Semi-intensive green roof (maximum thickness) with draining layer of granular materials (insulation=3 cm; substrate=30 cm)	159.09
M9	Cubierta ajardinada intensiva con capa drenante de materiales granulares (aislante=3 cm; substrato=60 cm)/ Intensive green roof with drainage layer of granular materials (insulation=3 cm; substrate=60 cm)	222.58

Conclusiones

Las diferentes capas que componen una cubierta ajardinada determinan, no solo el funcionamiento de la cubierta, tanto en su aspecto energético y térmico, como en sus características medioambientales, sino que también determinan el coste de construcción del sistema de manera significativa.

A la hora de instalar el sistema de cubierta, la elección de una cubierta ajardinada extensiva (modelos M2 y M6) frente a una cubierta sin ajardinar (modelo M1) implica un aumento del coste de menos del doble (1.6). Todos los tipos de cubierta, como ya se ha comentado, se han calculado para cumplir con las exigencias de ahorro energético establecidas por la normativa actual. Esto quiere decir que no sería necesario emplear soluciones ajardinadas con grandes espesores para conseguir el confort térmico en el interior del edifico (modelo M5 y M9), siendo estas soluciones el doble de cara que los sistemas extensivos y más de 3 veces más caras que la solución sin ajardinar. El uso de diferentes tipos de materiales en la capa drenante no muestra una influencia significativa en el coste de las soluciones, siendo la diferencia despreciable.

Cabe destacar, en el caso de las rehabilitaciones, que el estado en el que se encuentren elementos como la formación de pendientes, la lámina impermeable o el material aislante pueden determinar la reutilización de estos materiales en la nueva solución. Esto también dependerá de que los materiales empleados cumplan o no con las necesidades concretas de una cubierta plana ajardinada invertida. En el caso de poder ser reutilizados, el coste de las diferentes soluciones se verá reducido y se deberá estudiar en función de las particularidades de cada solución.

Resulta de vital importancia el estudio del coste de construcción de las cubiertas ajardinadas, desmintiendo la idea de su desorbitado coste en comparación con una cubierta tradicional sin ajardinar, especialmente cuando se trata de proyectos de pequeña escala, como puede ser la rehabilitación de edificios residenciales. Por otro lado, cabe destacar también que los beneficios de las cubiertas ajardinadas no solo son económicos, ya que social y ambientalmente conllevan una serie de mejoras que nunca deben ser desmerecidas frente a la importancia económica de su instalación.

Conclusions

The different layers that form a green roof determine, not only the operation of the roof, both in its energy and thermal aspects, as well as its environmental characteristics, but they also determine the construction cost of the system in a significant way.

When it comes to installing the roof system, choosing an extensive green roof (M2 and M6 models) versus a non-landscaped roof (M1 model) implies a cost increase of less than double (1.6). All types of roof, as already mentioned, have been calculated to comply with the energy saving requirements established by current regulations. This means that it would not be necessary to use green solutions with large substrate thicknesses to achieve thermal comfort inside the building (M5 and M9 models), these solutions being twice as expensive as extensive systems and more than 3 times more expensive than the solution without landscaping. The use of different types of materials in the drainage layer does not show a significant influence on the cost of the solutions, the difference being negligible.

It should be noted, in the case of rehabilitations, that the state in which elements such as the formation of slopes, the waterproof sheet or the insulating material are found, can determine the reuse of these materials in the new solution. This will also depend on whether or not the materials used meet the specific needs of a flat inverted green roof. In the case of being able to be reused, the cost of the different solutions will be reduced and should be studied according to the particularities of each solution.

It is vitally important to study the construction cost of green roofs, denying the idea of their exorbitant cost compared to a traditional roof without landscaping, especially when it comes to small-scale projects, such as the rehabilitation of residential buildings. On the other hand, it should also be noted that the benefits of green roofs are not only economic, since socially and environmentally they entail a series of improvements that should never be detracted from the economic importance of their installation.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Ajuntament de Barcelona. «Guía de terrats vius y cobertes verdes.» Área d'Ecología Urbana, Ajuntament de Barcelona, (2015), 76.
- Castleton HF, Stovin V, Beck SBM, Davison JB. «Green roofs: buildings energy savings and the potential for retrofit.» *Energy and Building* 42 (2010): 1582-1591.
- Ching FDK, Shapiro IM. «Arquitectura ecológica. Un manual ilustrado.» Editorial Gustavo Gili, Barcelona (2015), 288. ISBN : 978-84-252-2744-8.
- CYPE Ingenieros S.A. «Generador de precios de la construcción». http://www.generadordeprecios.info/#gsc.tab=0. Accessed 20 Jan 2021.
- DANOSA España. «Tarifa 2020.» DANOSA España, Guadalajara, (2020), 44. https://portal.danosa.com/danosa/CMSServlet?node=tarifa&site=1. Accessed 20 Jan 2021.
- DANOSA España. «Dossier técnico: cubiertas ajardinadas.» DANOSA España, Guadalajara, (2014), 32.
- DANOSA España. «Impermeabilización sintética. Láminas EPDM.» DANOSA España, Guadalajara. https://portal.danosa.com/danosa/CMSServlet?node=220103. Accessed 20 Jan 2021.
- IDAE. «Guía técnica para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios. Soluciones con aislamiento de poliuretano.» IDAE, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Gobierno de España, (2007), 58.
- Íñigo, A. «La cubierta verde como mejora del comportamiento energético en Alicante.» Trabajo Fin de Grado. Escuela Politécnica Superior (EPS), Universidad de Alicante, (2017), 130.
- Lerma C, Barreira E, Almeida RMSF. «A discussion concerning active infrared thermography in the evaluation of buildings air infiltration.» *Energy and Building* 168 (2018): 56-66.
- Liu, K. «Engineering performance of rooftop gardens through field evaluation.» *RCI 18th international Convention & Trade Show*, IBEC, Florida, (2003), 15.
- Ministerio de Fomento. «DB-HE Ahorro de energía.» Ministerio de Fomento, Gobierno de España, (2019), 54.
- Ministerio de Vivienda, IETCC. «Catálogo de elementos constructivos del CTE.» Ministerior de Vivienda/IETCC, CSIC, Ministerior de Ciencia e Innovación, Gobierno de España, (2010), 141.
- Mohammadi K, Hooman S. «Principles of sustainable architecture design in crowded residential complexes with an outlook to resuscitation of nature in architecture.» *The Turkish Online Journal of Design, Art and Comunication*, August Special Edition, (2016): 1673-1681.
- Presidencia del Gobierno. «Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas (NBE-CT-79).» Presidencia del Gobierno, Gobierno de España, (1979). https://www.boe.es/eli/es/rd/1979/07/06/2429. Accessed 20 Jan 2021.
- Revista Retina. «¿Cómo es la energia que consumimos en España?» *El Pais*, (2019). https://retina.elpais.com/retina/2019/07/04/innovacion/1562246562_119886.html. Accessed 20 Jan 2021.
- Shao B, Du X, Ren Q. «Numerical investigation of energy saving characteristic in building roof coupled with PCM using Lattice Boltzmann method with economic analysis.» *Applied Sciences* 8, 1739 (2018).
- ZinCo Cubiertas Ecológicas S.L. «Sistemas y accesorios para cubiertas verdes. Gama de productos ZinCo.». ZinCo Cubiertas Ecológicas S.L., Madrid, 48. https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/guias_tecnicas/guias/ZinCo_Gama_de_productos.pdf. Accessed 20 Jan 2021.

GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN PROCESOS ADMINISTRATIVOS VINCULADOS AL MANTENIMIENTO

MANAGEMENT OF KNOWLEDGE IN ADMINISTRATIVE PROCESSES LINKED TO THE MAINTENANCE

Cristian Garcia Garcia
Magister por la Universitat Politècnica de València, Investigador en la Carrera de Ingeniería Automotriz; Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca – Ecuador, Profesor Titular de la Universidad. E-mail: cgarciag@ups.edu.ec
Magister by the Polytechnic Universitat Politècnica de València,, Researcher in the Automotive Engineering; Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador, Professor of the University. E-mail: cgarciag@ups.edu.ec

Javier Cárcel-Carrasco
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es
Ph.D. by the Universitat Politècnica de València. Department of Architectural Constructions. Polytechnic University of Valencia. Camino de Vera, s / n, 46022 Valencia, Spain. Email: fracarc1@csa.upv.es

Mary Vergara Paredes
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València, Investigador en la Carrera de Ingeniería Automotriz; Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil – Ecuador, Ingeniero Mecánico por la ULA-Venezuela, E-mail: mvergarap@ups.edu.ec
Ph. D. by the Universitat Politècnica de València, Researcher in the Automotive Engineering; Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil - Ecuador, Mechanical Engineer by ULA-Venezuela, E-mail: mvergarap@ups.edu.ec

Franklin Camacho
Ph. D. por la Universidad de los Andes-Venezuela, Docente Investigador Yachay Tech, Departamento de Matemáticas, Ibarra-Ecuador, E-mail: cfranklinj@gmail.com
Ph. D. by the Universidad de los Andes-Venezuela, Research Professor Yachay Tech, Department of Mathematics, Ibarra- Ecuador, E-mail: cfranklinj@gmail.com

Abstract

The industrial sector, cannot be that far from disciplines such as the Management of Knowledge; that should be an essential pilar to energize and enhance the processes of manufacture and administration. By mentioning the Management of Knowledge, we are talking about the creation, transference, storage, application and use of the same knowledge; we must consider as an important element; the intellectual capital. In any area of knowledge is important generalize environments that promotes the optical application and development of the management in industrial environments. The Management of Knowledge allows systematize and organize the knowledge in the organization in function that is involved the intellectual capital. For that reason, is in your needs, the orientation of the competition and capabilities of the people.

The proposal presents a methodology for the catchment and transmission of knowledge for administrative tasks in industrial environments. For the approach of the methodology the instruments used were: The semi-structured interview, the direct observation and documentation associate to the processes.

Keywords: Management of knowledge, Human talent, Decision making.

Introducción

El conocimiento es un recurso que se ha convertido en un activo con gran potencial debido a los avances de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (Flores, 2005). En el mundo actual desde el punto de vista económico, social y cultural, el conocimiento es un elemento esencial para la economía de la información e implica la creación de herramientas que permitan una gestión adecuada y pertinente del conocimiento.

El conocimiento es considerado un recurso de vital importancia para las organizaciones, por ello la creación, transferencia y gestión del conocimiento son imprescindibles para el éxito. La gestión Universitaria en la actualidad es un proceso complejo que incorpora el manejo de conocimientos, creatividad, innovación y el desarrollo de enfoques proactivos [1].

La Gestión del Conocimiento puede mejorar el desempeño de la organización y así lograr una organización inteligente, pero no es suficiente por sí sola; puesto que este involucra la planeación de estrategias y el establecimiento de políticas y además la colaboración de todo el personal de la organización, un alto sentido de compromiso para ejecutar su trabajo y la aceptación del proceso [2].

De cierta manera, todas las organizaciones gestionan el conocimiento en la práctica; mejor o peor, con más o menos método, con mayor o menor acierto, de forma más o menos consciente, pero lo gestionan

Las definiciones de la Gestión del Conocimiento que aparecen en la literatura adoptan varias aristas

- Una colección de procesos para gestionar la creación, la diseminación y el apalancamiento del conocimiento a fin cumplir los objetivos de la organización [3]
- Gestionar tanto los stocks como los flujos de conocimiento [4].
- Gestión de los sistemas y bases de datos en tecnologías de la información [5], aumentando las capacidades o induciendo buenas prácticas.
- La gestión del talento del personal que posee y crea conocimiento y su interacción social como el eje de GC [3] .

Metodología de Investigación

La propuesta tiene su fundamento en el modelo planteado por [6], del cual se han derivado muchas investigaciones y propuestas para la gestión del conocimiento en el contexto Administrativo.

Se considera a la gestión del conocimiento, como un proceso, que está integrado por la generación, codificación, transferencia y la utilización del conocimiento dentro de la empresa.

En el presente trabajo de investigación se estudian las tres primeras fases: la generación, codificación y la transferencia del conocimiento.

Se optó por el estudio de casos por ser una estrategia que se orienta a comprender en profundidad las dinámicas presentes en los escenarios individuales y a descubrir nuevas relaciones y conceptos, cuestiones importantes de este estudio, más que verificar o comprobar proposiciones previamente establecidas.

Introduction

The knowledge is a resource which had become in an active with great potential due to the advances of the new technologies of the information and communication (Flores, 2005). In the real world from the point of economic view, social and culture, the knowledge is an essential element for the economy of the information and implies the creation of tools that allow a right management and enabler of the knowledge.

The knowledge is considering a vital source for the organizations, thus the creation, transfer and management of knowledge are essential for the success. The University management nowadays is a complex process that incorporate the management of knowledges, creativity, innovation and the development of proactive approaches. [1]

The Management can improve the performance of the organization and thus achieve an intelligent organization, but it's not enough by itself; since this involves the planification of strategies and the establishment of policies and also the collaboration of all the staff of the organization, a high sense of commitment to execute the work and the approval of the process. [2]

In a certain way, all the organizations manage the knowledge in the practice; for better or worse, with more or less methodology, success and conscious, but its manageable.

The definitions of the Management of Knowledge that appear in the literature adopt several edges:

A collection of processes to manage the creation, the dissemination and the leverage of the knowledge in order to fulfil the objectives of the organization. [3]

Manage both the stocks as wells as the fluxes of knowledge. [4]

Management of the systems and databases in technologies of information [5], increasing the capabilities or inducing good practices.

The management of talent of the staff that owns and creates knowledge and their social interaction as wells as the axis of the Management of Knowledge. [3]

Research Methodology

The proposal has its fundament on the proposed model [6], of which there are many researches and proposals for the management of knowledge in the administrative context.

Is considered the Management of Knowledge as a process that is integrated for the generation, codification, transference and the use of the knowledge inside the company. In the current research it is studied the first three phases: The generation, codification and the transference of knowledge.

It was opted for the case studies for being a strategy that us oriented to deeply understand the current dynamics in the individual sceneries and to discover new relationships and concepts, important questions of study, more than verify or prove propositions previously established.

Implementación de la metodología

Debido a que se trata de medir un activo intangible (los procesos de gestión de conocimiento), es de difícil medición. Es por ello que la propuesta debe apoyar el proceso de adquisición del conocimiento de tipo cualitativo en lugar de cuantitativo.

Adquisición y generación del conocimiento

Como fuentes de adquisición y generación del conocimiento se hará uso de la observación, entrevistas y documentos institucionales. Lo que se desea con esta metodología es que la planta docente cuente con un sistema de conocimiento formal (documentos) que facilite la transferencia del conocimiento explícito y tácito. En la Figura 1, se esquematiza el proceso genérico de la captación del conocimiento en la planta docente-administrativa.



Figura 1. Proceso de Captación de conocimiento

El diseño de la metodología permitirá conocer el fenómeno de estudio y que los casos concretos ofrezcan una oportunidad de aprender. Esto se logra en la medida en que: (a) se tenga fácil acceso a los casos, (2) exista una alta probabilidad de que se dé una mezcla de procesos, programas, personas, interacciones y/o estructuras relacionadas con las cuestiones de la investigación y, (3) se asegure la calidad y credibilidad del estudio.

Implementation of the Methodology

Because it's about measuring an intangible active (the processes of Management of Knowledge), it's difficult to measure. It's because of that the proposal should support the process of acquisition of the knowledge, qualitative type instead of quantitative.

Acquisition and generation of knowledge

As sources of acquisition and generation of the knowledge it will be use of the observation, interviews and institutional documents. What is desired with this methodology is that the institutional plant counts with a system of formal knowledge (documents) that facilitate the transference of the explicit and tacit knowledge.

In the Figure 1, it is schematized the generic process of the catchment of knowledge in the administrative institutional plant.

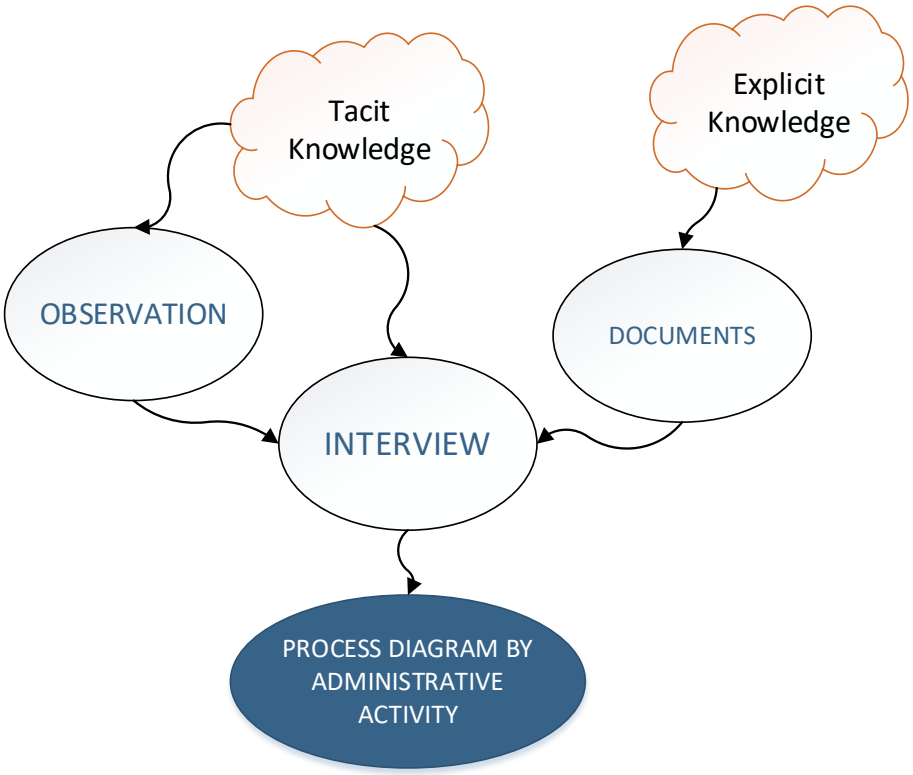


Figure 1. Process of Catchment of knowledge

The design of the methodology will allow the phenomenon of study and in the particular cases to offer an opportunity to learn. This is achieved according to: (1) easy access to the cases, (2) an existent high probability of mixture of cases, programs, people, interactions and/or structures related to the questions of the research and, (3) the assurance of the quality and credibility of the study. It is proposed a list of categories to support the consistence of the data in each of the cases.

Guion de la entrevista

Es necesario analizar los elementos que intervienen en el proceso de gestión del conocimiento en las actividades administrativas. Se busca captar la experiencia personal de los responsables de cada una de las tareas administrativas en el manejo de los procesos.

El guion propuesto es el siguiente:

1. En su actividad diaria en el desempeño de sus funciones, ¿Cómo se crea o genera el conocimiento que utiliza normalmente en sus funciones?

2. ¿Cómo se produce la codificación y almacenamiento, del conocimiento generado? ¿De qué manera contribuye usted?

3. ¿Cómo se produce la transferencia de ese conocimiento, que usted posee o necesita?

5. ¿De qué manera utiliza el conocimiento almacenado?

6. ¿Qué barreras cree que existen dentro de las tareas administrativas para que se produzca una adecuada gestión del conocimiento?

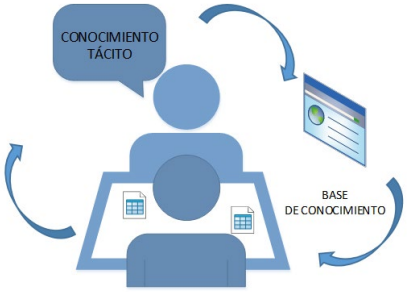


Figura 2. Formato de entrevista

El paso precedente al análisis de los datos, es reproducir las entrevistas, las notas hechas durante la entrevista, las observaciones realizadas y la información útil de los documentos revisados. Los casos estudiados deben ser analizados individualmente para cada una de las actividades administrativas y de forma cruzada con base en las estrategias de categorización y contextualización descritas por (Maxwell, 1996), Figura 3.

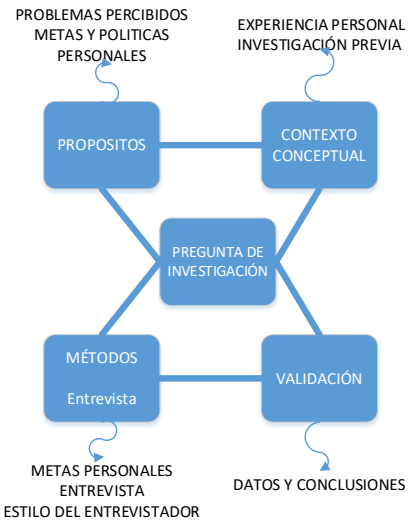


Figura 3. Factores contextuales para análisis de datos cualitativos

Script of the interview

It is necessary to analyze the elements that intervene in knowledge management process in administrative activities. The aim is to capture the personal experience of those responsible for each administrative tasks in the management of the processes. The proposed indent is as follows:

1. In your daily activity in the performance of your duties, ¿how do you create or generate the knowledge that you normally use in your duties?
2. How do you encode and store the generated knowledge? How do you contribute?
3. How does the transfer of that knowledge occur, which you own or need?
5. How do you use the stored knowledge?
6. What barriers, within the administrative tasks, do you think could affect in order to produce a proper knowledge management?

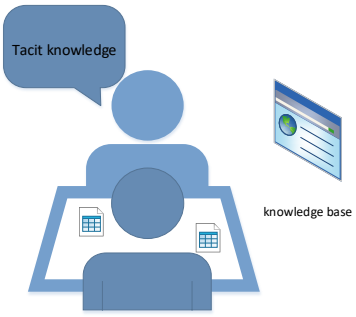


Figure 2. Interview format

The preceding step to analysis of the data is reproducing interviews, the notes taken during the interview, the observations and the useful information from the revised documents. The studied cases should be analyzed individually for each of the administrative activities and cross-referenced based on the categorization and contextualization strategies described by (Maxwell, 1996), Figure 3.

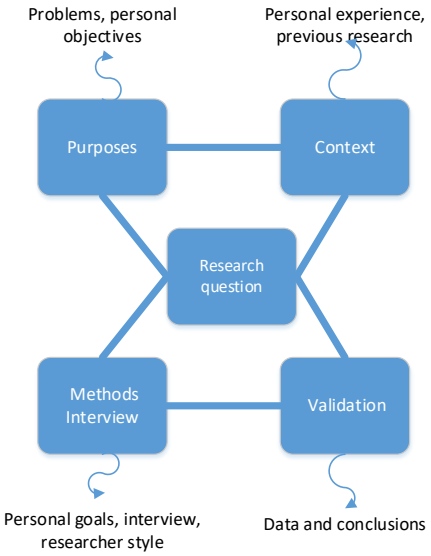


Figure 3. Contextual factors for qualitative data analysis

Se propone una lista de categorías para apoyar la consistencia de los datos en cada uno de los casos. La categorización de los datos tomó como modelo lo planteado por [7], [8]. Figura 4.



Figura 4. Categorización de las Dimensiones de Conocimiento

Al considerar el modelo de estudio, la propuesta metodológica abarca las tres etapas iniciales del modelo de [6], en la Figura 5 se identifican las etapas de generación, codificación, transferencia del conocimiento con respecto a las Fases de implementación de la metodología. La metodología para la **gestión del conocimiento** toma como referencia al modelo propuesto por [6].

El modelo considera a la **gestión del conocimiento**, como un proceso que está integrado por cuatros etapas (generación, codificación, transferencia y la utilización del conocimiento). La propuesta metodológica desarrolla las tres primeras etapas.

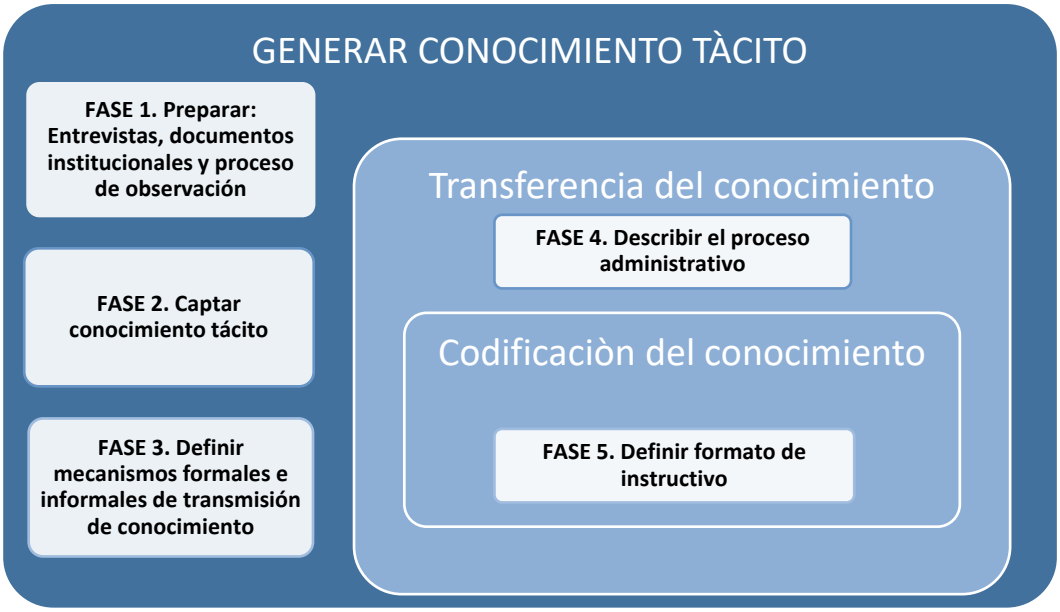


Figura 5. Comparativa de modelo (Nonaka et al, 1995) y las Fases de implementación de la metodología

The categorization of the data took as role model the proposed by [7] [8], Figure 4.

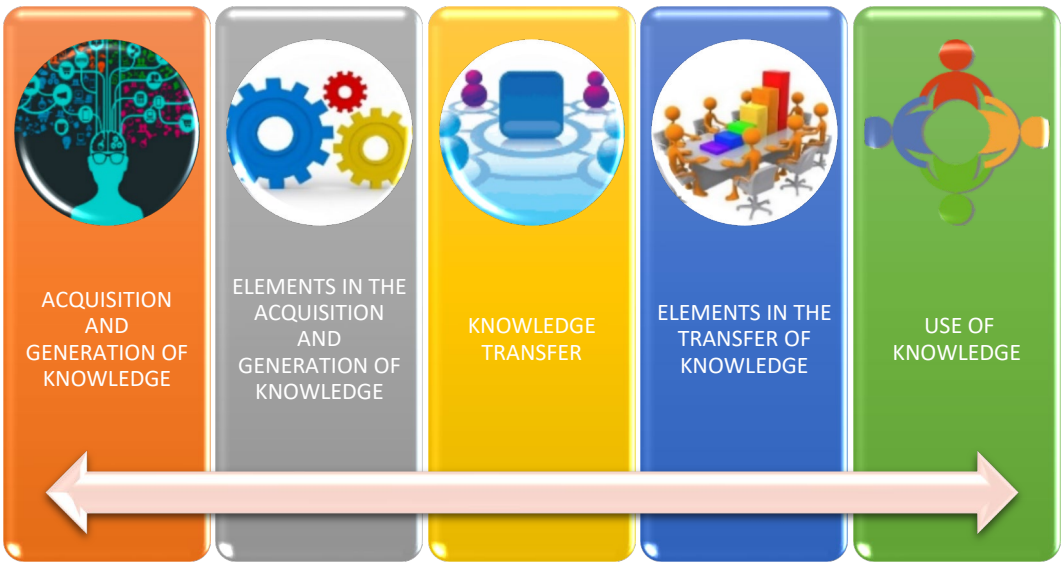


Figure 4. Categorization of the Dimensions of Knowledge

At the moment to consider the study model, the methodological proposal embraces the three initial phases of the model of [6], in the Figure 5. it is identified the phases of generation, codification, transference of knowledge with respect to the Phases of implementation of the methodology. The methodology for the Management of Knowledge takes as reference the proposed model by [6].

The model considers to the Management of Knowledge as a process that is integrated by four phases (generation, codification, transference and the use of knowledge). The methodological proposal develops the first three phases.

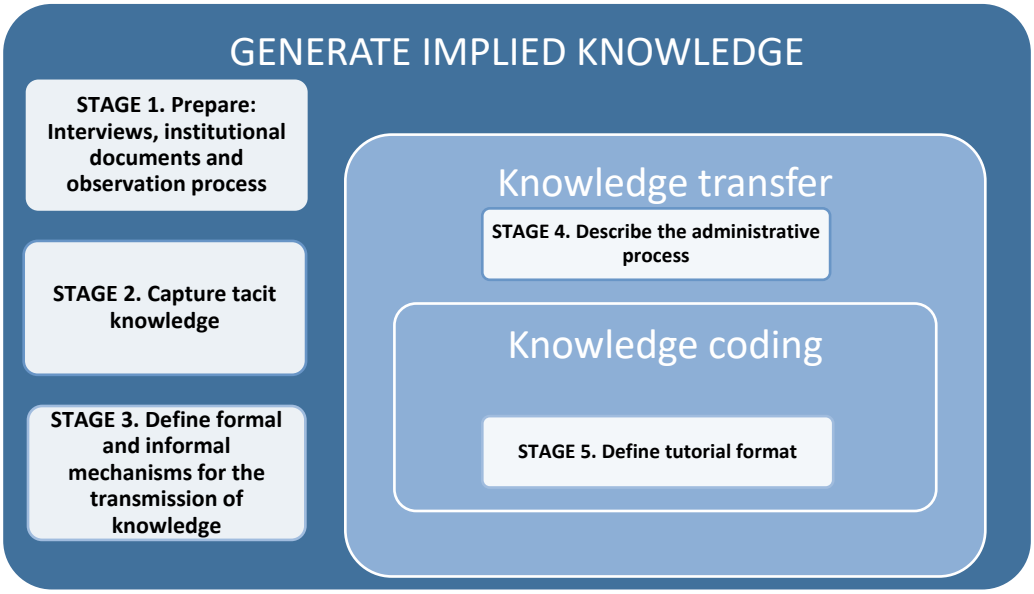


Figure 5. Comparative of the model (Nonaka et al, 1995) and the Phases of implementation of the methodology

Conclusiones

La gestión del conocimiento es hoy en día un elemento de gran importancia para el desarrollo organizacional y, antes que ser un medio del desarrollo, se convierte en un fin, por eso se valora en el ámbito académico como uno de los elementos del quehacer universitario, en especial en lo referente a la investigación y a los centros de investigación, de tal forma que este ítem se encuentra entre los tres pilares fundamentales de la misión universitaria.

La propuesta de gestión de conocimiento, se basó en el modelo planteado por Nonaka y Takeuchi. El modelo considera a la gestión del conocimiento, como un proceso, que está integrado por la generación, codificación, transferencia y la utilización del conocimiento dentro de la empresa.

Conclusions

The Management of Knowledge is today an element of great importance for the organizational development and, before being a development medium, it becomes into an end, that's why it is valued in the academic field as one of the elements of the university work, specially referring to the research and to the centers of research, in such way that this item is found between the three fundamental pillars of the university mission.

The proposal of Management of Knowledge was based in the proposed model by Nonaka and Takeuchi. The model considers to the Management of Knowledge, as a process, that is integrated for the generation, codification, transference and the use of knowledge inside the company.

Bibliografía

[1] K. Torres y P. Lamenta, «La gestión del conocimiento y los sistemas de información en las organizaciones», *Rev. Negot.*, vol. 0, n.º 32, Art. n.º 32, nov. 2015.

[2] K. T. Rodriguez, P. L. Pistillo, y B. H. Fernandez, «Clima organizacional como gestión del conocimiento», *Sapienza Organ.*, vol. 5, n.º 9, pp. 159-172.

[3] N. Beamish y C. Armistead, «Selected debate from the arena of knowledge management: New endorsements for established organizational practices», *Int. J. Manag. Rev.*, vol. 3, pp. 101-111, jun. 2001, doi: 10.1111/1468-2370.00057.

[4] L. Fahey y L. Prusak, «The Eleven Deadliest Sins of Knowledge Management», *Calif. Manage. Rev.*, vol. 40, pp. 265-276, abr. 1998, doi: 10.2307/41165954.

[5] R. Pitkethly, «Intellectual property strategy in Japanese and UK companies: Patent licensing decisions and learning opportunities», *Res. Policy*, vol. 30, pp. 425-442, mar. 2001, doi: 10.1016/S0048-7333(00)00084-6.

[6] I. Nonaka y H. Takeuchi, *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford university press, 1995.

[7] L. E. Zapata, «La gestión del conocimiento en pequeñas empresas de tecnologías de la información: una investigación exploratoria», *Doc. Treb. Univ. Autònoma Barc. Dep. Econ. Empresa*, n.º 8, p. 8, 2001.

[8] J. Cárcel, M. Rodríguez, y C. Carnero, «Impact of the Knowledge Management in Maintenance Engineering»:, 2017.

INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO COMO APOYO A LA GESTIÓN DE ACTIVOS

MAINTENANCE ENGINEERING AS ASSET MANAGEMENT SUPPORT

Cristian Garcia Garcia
Magister por la Universitat Politècnica de València, Investigador en la Carrera de Ingeniería Automotriz; Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca – Ecuador, Profesor Titular de la Universidad. E-mail: cgarciag@ups.edu.ec
Magister by the Polytechnic Universitat Politècnica de València,, Researcher in the Automotive Engineering; Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador, Professor of the University. E-mail: cgarciag@ups.edu.ec

Javier Cárcel-Carrasco
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es
Ph.D. by the Universitat Politècnica de València. Department of Architectural Constructions. Polytechnic University of Valencia. Camino de Vera, s / n, 46022 Valencia, Spain. Email: fracarc1@csa.upv.es

Mary Vergara Paredes
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València, Investigador en la Carrera de Ingeniería Automotriz; Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil – Ecuador, Ingeniero Mecánico por la ULA-Venezuela, E-mail: mvergarap@ups.edu.ec
Ph. D. by the Universitat Politècnica de València, Researcher in the Automotive Engineering; Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil - Ecuador, Mechanical Engineer by ULA-Venezuela, E-mail: mvergarap@ups.edu.ec

Francklin Rivas Echeverria
Ph. D. por la Universidad de los Andes-Venezuela, Docente Investigador en la Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Informática, Valparaíso-Chile, E-mail: firivas@inf.utfsm.cl.
Ph. D. by the Universidad de los Andes-Venezuela, Research Professor at the Technical University Federico Santa María, Computer Science Department, Valparaíso-Chile, E-mail: firivas@inf.utfsm.cl.

Abstract

Maintenance is a significant part of the direct cost of operations for industrial enterprises (manufacturing, process or infrastructure). With increasingly tight service margins, maintenance is one of the few areas where a company can improve its profitability; in addition, maintenance management is linked to the improvement of environmental and safety management processes [1].

Scheduled management of, maintenance increases the efficiency and lifespan of a company's physical assets, increasing profitability and ensuring sustainability over time. This approach is part of the concept of "Asset life cycle management".

In [2], it is stressed that life-cycle stages of an asset are associated with maintenance management; the detailed knowledge of the costs that influence all product actors in their life-cycle; allows decisions to be made on economic items that are not otherwise allocated to the project.

Keywords: Management of knowledge, Human talent, Decision making.

Introducción

El rendimiento óptimo en la fase de operación y mantenimiento, es solamente alcanzado por organizaciones que abarquen este proceso con un enfoque holístico, esto es de menor a mayor complejidad [3].

En este sentido, el mantenimiento debe ser definido y dirigido como un proceso, con el fin de obtener un reembolso óptimo de gastos (capital). Es así, que se tiene la necesidad de identificar un sistema de gestión del mantenimiento como una parte integral del modelo de gestión del ciclo de vida del activo.

Por ello, un programa de gestión de mantenimiento de activos y su costo asociado requiere asumir que:

La optimización del ciclo de vida de un activo depende de un mantenimiento efectivo.

La gestión de mantenimiento de activos es un proceso: “es un desarrollo paso a paso”.

Según el International Infrastructure Management Manual (2011), la gestión de activos físicos es la combinación de las áreas de gestión financiera, económica, ingeniería y otras prácticas aplicadas a los activos físicos con el objetivo de proveer el nivel de servicio requerido de forma rentable.

Se define a la gestión integral de activos físicos, como un sistema de control en que todo debe medirse y optimizarse. Consiste así en la gestión de los activos tangibles e intangibles como “un planteamiento integrado para operar, mantener, mejorar y adaptar las plantas e infraestructuras de una organización con la finalidad de crear un entorno que soporte firmemente los objetivos estratégicos de la empresa. En [4] se menciona que la Gestión de Activos no se enfoca tanto en hacer acciones sobre los activos, sino en generar valor a través de los activos, es decir se enfoca en la rentabilidad del negocio.

Por ello [5] menciona que; en la gestión integral de activos los objetivos de la gestión integral de activos en una organización, deben plantearse como algo medible y cuantificable, tal que exprese claramente la intención de la declaración de una estrategia y táctica clara del negocio.

Esto da paso a una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos e instalaciones. Es relevante recordar que el mantenimiento, su organización e informatización, debe estar encaminado a la permanente consecución de los siguientes objetivos:

Optimización de la disponibilidad de los activos.

Optimización de los costes de mantenimiento.

Optimización de los recursos humanos.

Maximización de la vida útil de los activos.

Con este precedente se concluye que el problema de la gestión integral de activos es dinámico, es por ello por lo que las organizaciones de gestión integral de activos pueden adoptar muchas conformaciones, siendo la mejor aquella que cumpla con los objetivos marcados de modo más eficiente.

Introduction

Optimal performance in the operation and maintenance phase is only achieved by organizations that cover this process with a holistic approach, from less to more complexity [3].

In this sense, maintenance must be defined and directed as a process, in order to obtain an optimal reimbursement of expenses (capital). Thus, there is a need to identify a maintenance management system as an integral part of the asset life cycle management model.

Therefore, an asset maintenance management program and its associated cost required assumes that:

• Optimizing the life cycle of an asset depends on effective maintenance.

• Asset maintenance management is a process: "it is a step-by-step development".

According to the International Infrastructure Management Manual (2011), physical asset management is the combination of financial management areas, economic, engineering, and other practices applied to physical assets with the aim of providing the required level of service in a cost-effective manner.

Comprehensive physical asset management is defined as a control system in which everything must be measured and optimized. It thus consists of the management of tangible and intangible assets such as "an integrated approach to operate, maintain, improve and adapt the plants and infrastructures of an organization in order to create an environment that firmly supports the strategic objectives of the company. In [4] it is mentioned that Asset Management does not focus so much on making shares in assets, but on generating value through assets, that is, it focuses on the profitability of the business.

Therefore [5] mentions that; in the comprehensive management of assets, the objectives of the comprehensive management of assets in an organization should be considered as measurable and quantifiable, such that it clearly expresses the intent of the statement of a clear business strategy and tactic.

This gives way to a series of activities whose execution allows achieving a greater degree of reliability in equipment and facilities. It is important to remember that the maintenance, its organization and computerization, must be aimed at the permanent achievement of the following objectives:

- Optimization of asset availability.
- Optimization of maintenance costs.
- Optimization of human resources.
- Maximizing the useful life of assets.

This precedent concludes that the problem of comprehensive asset management is dynamic, which is why comprehensive asset management organizations can adopt many configurations, being the best one that meets the objectives most efficiently.

Modelo de gestión integral de activos físicos

Un modelo se refiere a una representación, en principio, gráfica e idealizada que soporta la asociación con una realidad de un sistema; esto permite estudiar las interacciones de sus elementos componentes.

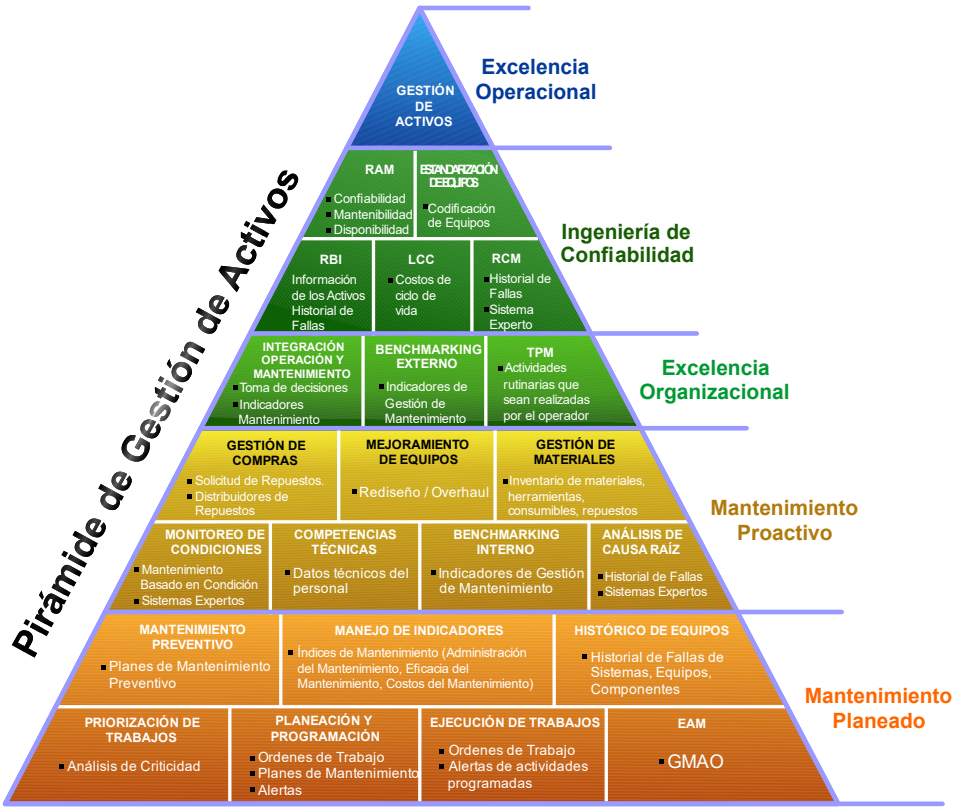
Modelo de gestión SAMI “Strategic Asset Maintenace Inc.”

La Gestión de Activos Físicos, tiene como finalidad contener todo lo que engloba el Mantenimiento Clase Mundial (MCM), el cual se enfoca en realizar mantenimiento a los equipos apoyando los planes estratégicos del negocio, basándose en datos y evaluando los riesgos que puede conllevar la toma de decisiones.

El MCM se puede definir por cinco niveles que engloba la Pirámide de Gestión de Activos (PGA), la cual viene estructurada desde su base por las características y criterios más básicos del mantenimiento hasta el tope por la Gestión de Activo [6]

Para el Strategic Asset Maintenace Inc., la Gestión de Activos Físicos se puede modelar como una pirámide, tal como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Modelo SAMI “Strategic Asset Maintenance Inc.”



Comprehensive asset management model

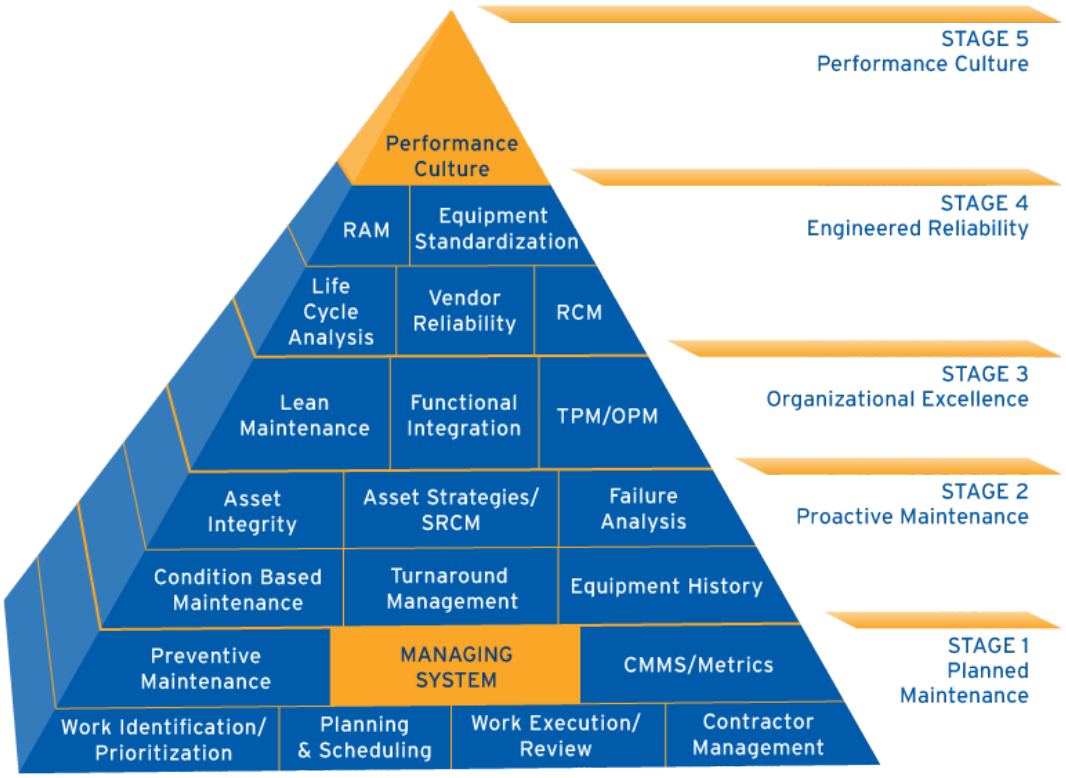
A model refers to a representation, in principle, graphic and idealized that supports the association with a reality of a system; this allows studying the interactions of its component elements.

SAMI management model "Strategic Asset Maintenace Inc."

Physical Asset Management aims to contain everything that encompasses World Class Maintenance (MCM), which focuses on maintaining teams by supporting strategic business plans based on data and assessing the risks that decision-making may entail. The MCM can be defined by five levels comprising the Asset Management Pyramid (PGA), which is structured from its base by the most basic characteristics and criteria of maintenance up to the ceiling by Asset Management [6]

For the Strategic Asset Maintenace Inc., Physical Asset Management can be modeled as a pyramid, as shown in Figure 1.

Figure 1. Model SAMI “Strategic Asset Maintenance Inc.”



Gestión del mantenimiento y su implicación en la gestión de activos

En comparación con la ingeniería de mantenimiento tradicional, a pesar del objetivo similar de mejorar la confiabilidad del sistema, la administración de activos extiende su enfoque más allá de mejorar la seguridad del sistema y reducir el costo para brindar beneficios de desempeño a las organizaciones y sus partes interesadas.

El mantenimiento aporta de manera significativa a la gestión de activos; desde la mejora de Confiabilidad, brinda información para la toma de decisiones, proporciona a la dirección la información asociada a la confiabilidad, mantenibilidad y seguridad para tomar decisiones relacionadas con el plan estratégico de la organización, proporciona las características del costo del ciclo de vida de los activos, apoya la medición impacto de las estrategias de mantenimiento de los activos e impacto de las estrategias y actividades de mantenimiento.

La gestión del mantenimiento forma parte de la dirección de operaciones y se orienta a la utilización más económica de los medios, con la finalidad de conservar y/o restituir los equipos de producción a unas condiciones que le permitan cumplir con una función requerida durante unos periodos de tiempo.

En la Figura 2, se muestran los seis elementos asociados a la Gestión de Activos Físicos.

La gestión del mantenimiento se relaciona a la gestión del histórico de fallos de los equipos, optimizar las estrategias de mejora o reemplazo de los activos, definir y gestionar los requerimientos futuros de mantenimiento; y la gestión de activos la define y diferencia como la actividad coordinada de una organización para rentabilizar el valor de sus activos físicos. En este orden de ideas, de una forma más general y estratégica, la gestión de activos físicos está diseñada para conectar la Alta Dirección a la base de la Gestión de Activos Físicos (parte táctica) usando un concepto llamado línea de visión.

La gestión de Activos Físicos, requiere que la valoración y definición del riesgo sean aceptables y comprendidos en todos los niveles de la organización. Esto proporciona la alineación en la toma de decisiones en todos los niveles de la organización para generar valor a partir de los activos en un nivel de riesgo aceptable.

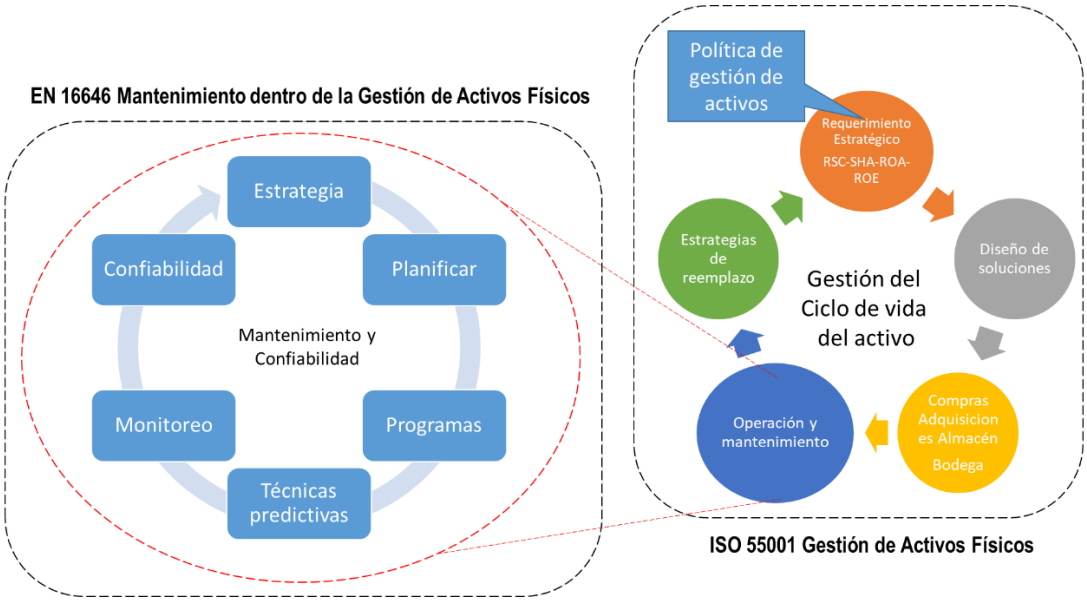


Figura 2. Gestión del mantenimiento, confiabilidad y la gestión de activos físicos

Maintenance management and its involvement in asset management

Comparing with traditional maintenance engineering, despite the similar goal of improving system reliability, asset management extends its focus beyond improving system security and reducing cost to provide performance benefits to organizations and their stakeholders.

Maintenance contributes significantly to asset management; for the improvement of Reliability, provides information for decision making, provides to management the information associated with reliability, maintainability and security to make decisions related to the organization strategic plan, provides the cost characteristics of the assets lifecycle, supports the impact´s measurement of asset maintenance strategies, the impact of strategies and maintenance activities.

Maintenance management is part of operations management and its geared towards the most economical resources use, for the purpose of maintaining and/or restoring production equipment to conditions which enable it to fulfil a required function for a period of time.

Figure 2, shows the six elements associated with Physical Asset Management.

Maintenance management relates to the management of equipment failure history, optimizing asset improvement or replacement strategies, defining and managing future maintenance requirements; and asset management is defined and differentiated as the coordinated activity of an organization to capitalize on the value of its physical assets. In this order of ideas, by more general and strategic way, physical asset management is designed to connect Senior Management to the Physical Asset Management (tactical part) base using a concept called sight line. Physical Asset Management requires that both valuation and definition of risk be acceptable and understood at all organization levels. This provides alignment in decision-making at all organization levels to generate value from assets at an acceptable risk level.

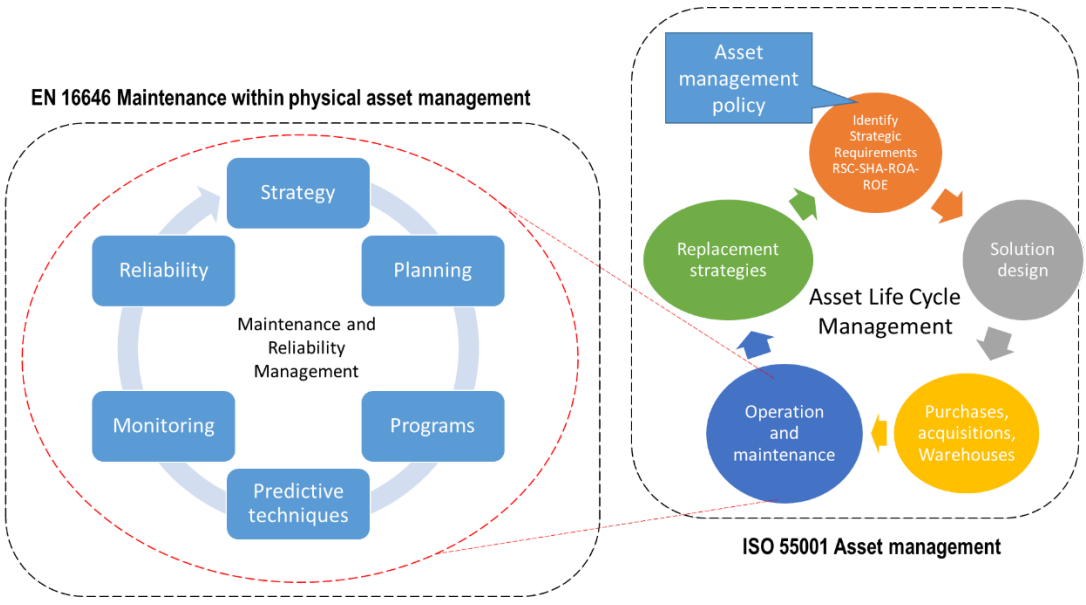


Figure 2. Maintenance management, reliability and physical asset management

Mantenimiento: Contribuciones al proceso de gestión de activos

La función de mantenimiento debe garantizar el buen desarrollo de los procesos que soportan la vitalidad de las funciones de los activos físicos. En particular, la EN 16646 se ocupa de establecer el rol del mantenimiento dentro de la empresa en relación con la gestión de activos físicos (Figura 3). y esto lo realiza buscando alinearse y dar sentido al rol del mantenimiento interpretando la familia de normas internacionales de requisitos para la gestión de activos ISO 55000: 2014.

Es evidente que la gestión de los activos físicos debe involucrar a toda la empresa, directa o indirectamente y debe estar guiada por estrategias y políticas que respondan y se integren con la gestión empresarial y viceversa [7]. A continuación, se describen las contribuciones del mantenimiento al proceso de la gestión de activos:

a) Características de Confiabilidad. Proporcionar las características de confiabilidad de activo o sistema activo.

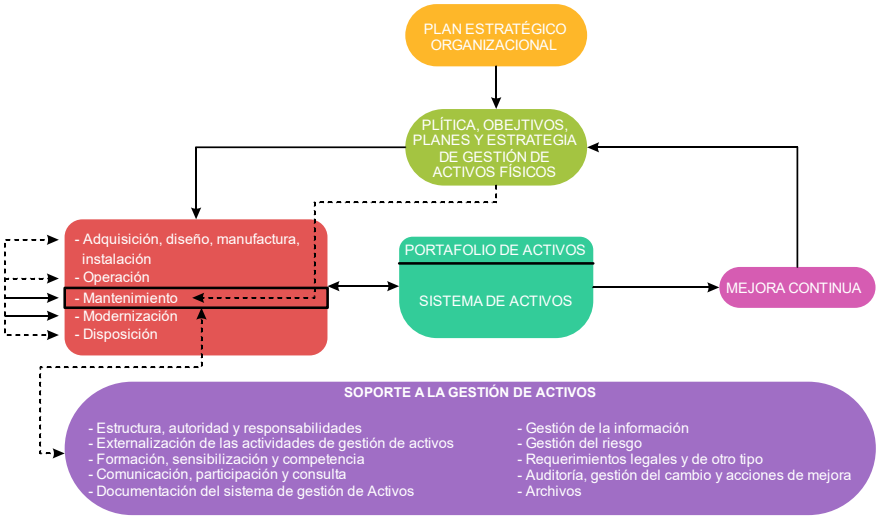
b) Proporcionar Información para toma de decisiones. Proporcionar a la dirección la información asociada a la confiabilidad, mantenibilidad y seguridad para tomar decisiones relacionadas con el plan estratégico de la organización.

c) Proporcionar las características del costo del ciclo de vida de los activos. Estos incluyen costos tales como: el coste de mantenimiento, incluyendo costos directos y los costos indirectos, siendo información relevante para la gestión de activos

d) Impacto de las estrategias de mantenimiento de los activos. Estos incluyen, por ejemplo, relación entre acciones correctivas y preventivas, y los efectos entre las actuaciones a corto y largo plazo de los activos.

e) Impacto de las estrategias y actividades de mantenimiento. Se habla a nivel de la política de gestión de activos, estrategia y planes, un ejemplo de ello, la definición del nivel de las competencias requeridas de acuerdo por las acciones de mantenimiento, que ayudaran a tomar decisiones sobre la subcontratación y el nivel de mantenimiento.

Figura 3. El Mantenimiento dentro de la Gestión de Activos (UNE-EN 16646:2015)



Maintenance: Contributions to the asset management process

The maintenance function should ensure the smooth development of processes that support the vitality of the functions of physical assets. In particular, EN 16646 is responsible for establishing the role of maintenance within the company in relation to the management of physical assets (Figure 3). and does this by seeking to align and give meaning to the role of maintenance by interpreting the family of international asset management requirements ISO 55000: 2014. It is clear that the management of physical assets should involve the entire undertaking, directly or indirectly, and should be guided by strategies and policies that are responsive and integrated with corporate governance and vice versa [7]. The contributions of maintenance to the management process are described below:

a) Reliability features. Provide the reliability features of an asset or active system.

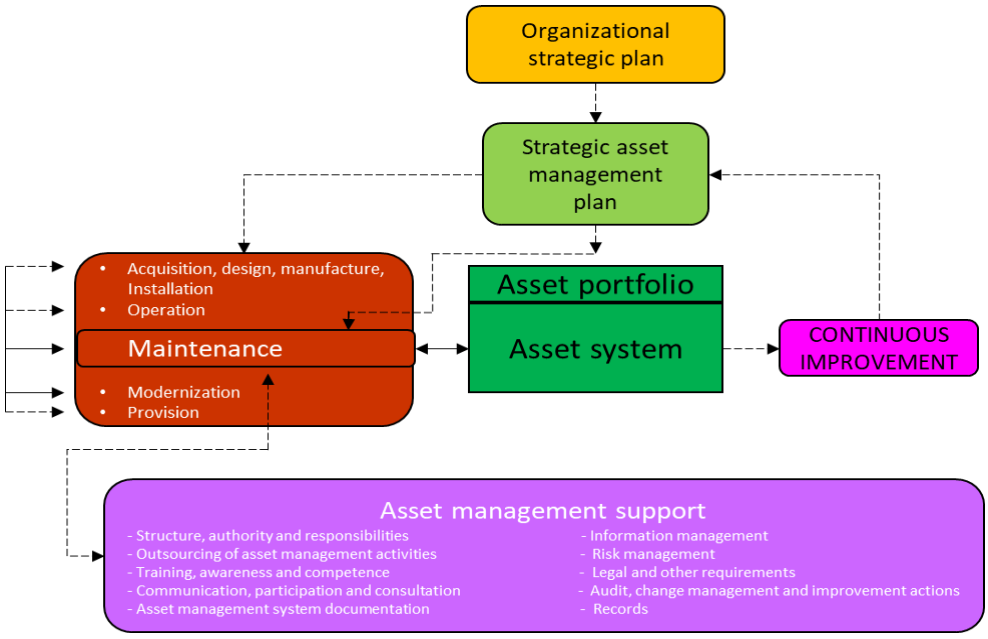
b) Provide information for decision-making. Provide management with the information associated with reliability, maintainability, and security to make decisions related to the organization's strategic plan.

c) Provide the life-cycle cost characteristics of assets. These include costs such as maintenance cost, consisting of both direct and indirect costs, with information relevant to asset management.

d) Impact of asset maintenance strategies. These include, for example, the relationship between corrective and preventive actions, and the effects between short-term and long-term actions of assets.

e) Impact of maintenance strategies and activities. At the level of asset management policy, strategy and plans, an example of this is the definition of the level of competencies required in agreement by maintenance actions, which will help to make decisions on subcontracting and the level of maintenance.

Figure 3. Asset maintenance and management (UNE-EN 16646:2015)



Conclusiones

La gestión del mantenimiento se relaciona a la gestión del histórico de fallos de los equipos, optimizar las estrategias de mejora o reemplazo de los activos, definir y gestionar los requerimientos futuros de mantenimiento; y la gestión de activos la define y diferencia como la actividad coordinada de una organización para rentabilizar el valor de sus activos físicos.

En este orden de ideas, de una forma más general y estratégica, la gestión de activos físicos está diseñada para conectar la Alta Dirección a la base de la Gestión de Activos Físicos (parte táctica) usando un concepto llamado línea de visión.

La gestión de Activos Físicos, requiere que la valoración y definición del riesgo sean aceptables y comprendidos en todos los niveles de la organización. Esto proporciona la alineación en la toma de decisiones en todos los niveles de la organización para generar valor a partir de los activos en un nivel de riesgo aceptable.

Conclusions

Maintenance management relates to the management of equipment failure history, optimizing asset improvement or replacement strategies, defining and managing future maintenance requirements, and asset management is defined and differentiated as the coordinated activity of an organization to capitalize on the value of its physical assets.

In this order of ideas, in a more general and strategic way, physical asset management is designed to connect Senior Management to the base of Physical Asset Management (tactical part) using a concept called line of sight.

Physical Asset Management requires that the valuation and definition of risk be acceptable and understood at all levels of the organization. This provides alignment in decision-making at all levels of the organization to generate value from assets at an acceptable level of risk.

Bibliografía

[1] L. Amendola, *Gestión de Integral de Activos: Business Solutions Asset Management Maintenance Framework*. Valencia: Ediciones PMM Institute for Learning, 2015.

[2] J. Cárcel, M. Rodríguez, y C. Carnero, «Impact of the Knowledge Management in Maintenance Engineering»:, 2017.

[3] L. Amendola, *Estrategias y tácticas de Overhaul: maintenance & asset management*. Valencia: PMM Institute for Learning, 2007.

[4] S. Petchrompo y K. Parlikad, «A review of asset management literature on multi-asset systems», *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 181, pp. 181-201, ene. 2019, doi: 10.1016/j.ress.2018.09.009.

[5] L. Amendola, «Gestión integral del Mantenimiento de Activos como Estrategia de Negocios:(Assessment, PAS 55-ISO 55000)», *Manten. Ing. Ind. Edificios*, n.º 267, pp. 12–19, 2013.

[6] J. E. Amadi-Echendu *et al.*, «What is engineering asset management?», en *Definitions, concepts and scope of engineering asset management*, Springer, 2010, pp. 3–16.

[7] A. Rodríguez, «La gestión de los activos físicos en la función mantenimiento», *Ing. Mecánica*, vol. 13, n.º 2, pp. 72-78, ago. 2010.

TOMA DE DECISIONES EN MANTENIMIENTO

DECISION MAKING IN MAINTENANCE

Cristian Garcia Garcia
Magister por la Universitat Politècnica de València, Investigador en la Carrera de Ingeniería Automotriz; Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca – Ecuador, Profesor Titular de la Universidad. E-mail: cgarciag@ups.edu.ec
Magister by the Polytechnic Universitat Politècnica de València,, Researcher in the Automotive Engineering; Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador, Professor of the University. E-mail: cgarciag@ups.edu.ec

Mary Vergara Paredes
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València, Investigador en la Carrera de Ingeniería Automotriz; Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil – Ecuador, Ingeniero Mecánico por la ULA-Venezuela, E-mail: mvergarap@ups.edu.ec
Ph. D. by the Universitat Politècnica de València, Researcher in the Automotive Engineering; Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil - Ecuador, Mechanical Engineer by ULA-Venezuela, E-mail: mvergarap@ups.edu.ec

Javier Cárcel-Carrasco
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es
Ph.D. by the Universitat Politècnica de València. Department of Architectural Constructions. Polytechnic University of Valencia. Camino de Vera, s / n, 46022 Valencia, Spain. Email: fracarc1@csa.upv.es

Francklin Rivas Echeverria
Ph. D. por la Universidad de los Andes-Venezuela, Docente Investigador en la Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Informática, Valparaíso-Chile, E-mail: firivas@inf.utfsm.cl.
Ph. D. by the Universidad de los Andes-Venezuela, Research Professor at the Technical University Federico Santa María, Computer Science Department, Valparaíso-Chile, E-mail: firivas@inf.utfsm.cl.

Abstract

Decision models help companies determine the value of maintenance. However, these are limited to very specific problems. The authors in [1] and [2], after proposing the management methodology for physical assets, conclude that more application-oriented research should be done. The authors in [3], point out that too much attention is paid to the development of new optimization models, with little regard to their applicability. They conclude that a shift from theoretical research to applied research is required.

Therefore, the detection, diagnosis and prediction of the performance of equipment that supports maintenance in a given system are as precise as the interrelations between condition-based maintenance (MBC), operating systems and databases allow, which is ultimately the largest source for decision-making, accompanied by the environment involving electronic maintenance "e - maintenance" [4].

Keywords: Decision making; Condition monitoring; asset management.

Introducción

Con el tamaño y la complejidad cada vez mayor de las industrias manufactureras, el fallo de un componente pequeño puede causar disrupciones completas del sistema, incidiendo en posibles accidentes, lo que implicaría reducción de la vida útil de los activos, mayor riesgo de avería y pérdidas económicas para la empresa. [5], [6], [7].

El cómo lograr esto, a través del uso de tecnologías de monitorización que apoyen el planteamiento de modelos con una visión holística de la condición del equipo es lo que nos debe llevar a plantear el desarrollo de esquemas de decisión que contribuyan a un mejor uso de los activos, permitiendo:

- Integrar datos para formular una visión holística de la condición de los equipos.
- Mejorar la confiabilidad del equipo adelantándose a los fallos.
- Reducir al mínimo el tiempo de inactividad a través de la planificación integrada indicadas según el monitoreo de condición.
- Maximizar la vida del componente, evitando las condiciones que reducen la vida útil del equipo.
- Reducir al mínimo los tiempos de parada no planificada

En la Figura 1, se esquematizan los pasos para implementar un sistema de toma de decisiones en mantenimiento, fases que van desde la priorización de activos hasta la optimización y análisis.

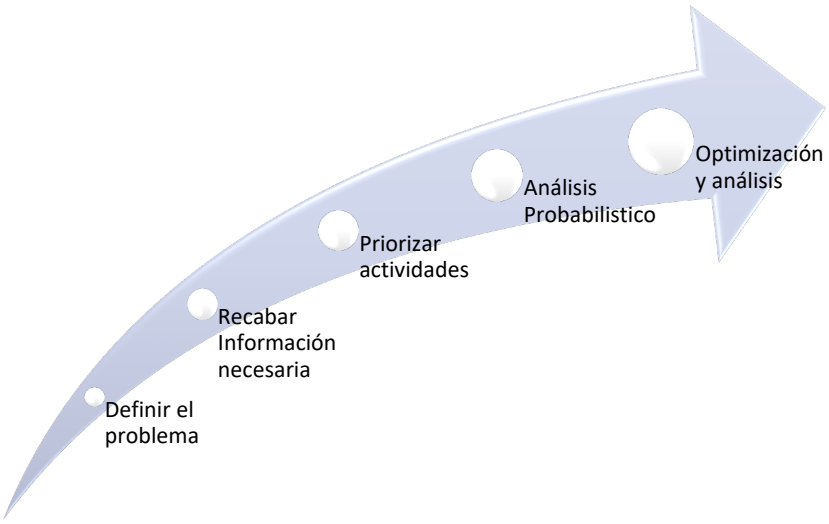


Figura 1. Pasos para implementar un modelo de toma de decisiones en mantenimiento

Un modelo de gestión estará en capacidad de gestionar la información de distintas fuentes a partir del nivel operativo (GMAO, MBC, Inspección y Operación), y por medio de técnicas de análisis y modos de fallo priorizar las actividades que se consideran críticas para la empresa.

Como siguiente punto relevante del modelo se puede identificar al estudio probabilístico para el cálculo de la confiabilidad del activo al igual que la implementación de un análisis de costos para la valoración del activo durante su ciclo de vida.

Introduction

With the growing size and complexity of manufacturing industries, the failure of a small component can cause complete system disruptions, leading to possible accidents, which would lead to a reduction in the useful life of assets, increased risk of damage and financial loss to the company. [5], [6], [7].

This can be achieved through the use of monitoring technologies that support the approach of models with a holistic view of the condition of the team, which is what should lead us to propose the development of decision schemes that contribute to a better use of assets, thus enabling:

- The integration of data to formulate a holistic view of equipment condition.
- The improvement of equipment reliability by anticipating failures.
- The minimuzation of downtime through integrated planning indicated according to condition monitoring.
- Maximize component life, avoiding conditions that reduce equipment life.
- The minimuzation of unplanned downtime.

In Figure 1, the steps to implement a decision-making system in maintenance are outlined, including the phases ranging from asset prioritization to optimization and analysis.

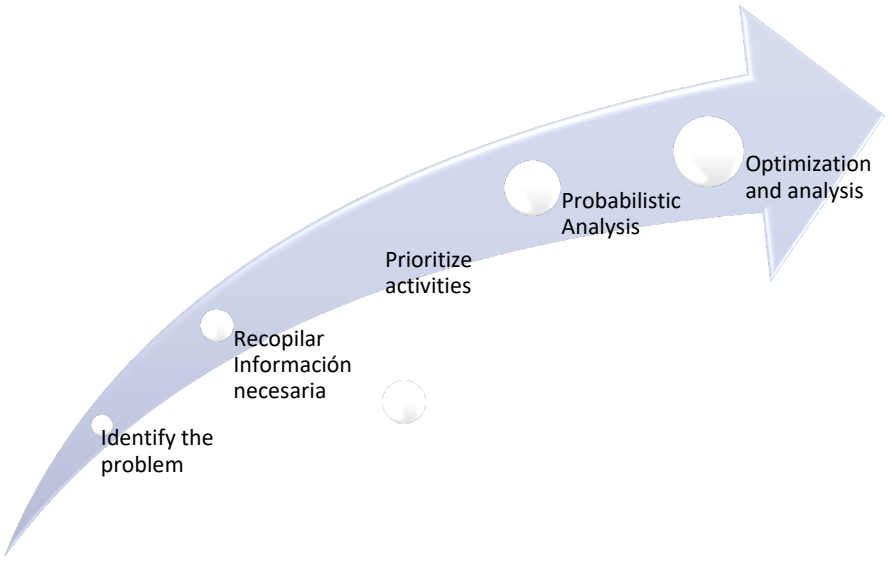


Figure 1. Steps to implement a maintenance decision-making model

A management model will be able to manage information from different sources from the operational level (GMAO, MBC, Inspection and Operation), and through analysis techniques and fault modes, prioritize activities that are considered critical to the company.

The next relevant point of the model is the probabilistic study for the calculation of the reliability of the asset, as well as the implementation of a cost analysis for the valuation of the asset during its life cycle.

Tipos de decisiones

De acuerdo con la magnitud y/o complejidad de lo que hay que resolver, se pueden adoptar distintos tipos de soluciones, que van desde las conocidas y bien definidas hasta las poco comunes y ambiguas, las cuales sirven como punto de partida para clasificar las decisiones: de rutina, de adaptación e innovadoras, Figura 2.

- **Decisiones de rutina**

Las decisiones de rutina son aquellas elecciones que se toman ante circunstancias relativamente comunes, sin mayor complicación. Por lo mismo, de una manera u otra, están contempladas en las normas, procedimientos o criterios operativos que las empresas siguen cotidianamente.

- **Decisiones de adaptación**

Las decisiones de adaptación se refieren a las elecciones que se hacen ante una combinación de factores que se salen un poco de lo habitual. De allí que implican una mejora o modificación de las rutinas habituales.

- **Decisiones innovadoras**

Las decisiones innovadoras son elecciones que se basan en el descubrimiento, la identificación y el diagnóstico de problemas inusuales y ambiguos y/o el desarrollo de soluciones alternativas únicas o creativas.

Por su naturaleza, estas decisiones entrañan una ruptura con el pasado casi nunca se presentan en secuencia lógica y ordenada. Normalmente se basan en información que cambia a gran velocidad.

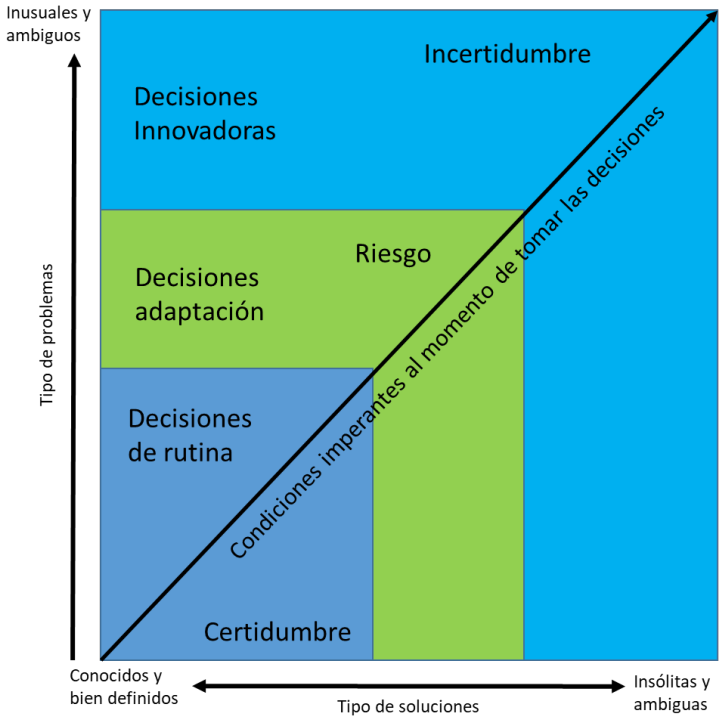


Figura 2. Tipos de decisiones

Types of decisions

Depending on the magnitude and/or complexity of what needs to be resolved, different alternatives be adopted, ranging from well-known and well-defined to uncommon and ambiguous, which serve as a starting point for classifying decisions: routine, adaptive and innovative. Figure 2.

Routine decisions

Routine decisions are those decisions that are made in relatively common circumstances with no complications. For the same reason, in one way or another, they are covered by the rules, procedures or operational criteria that companies follow on a daily basis.

Adaptation decisions.

Adaptation decisions refer to choices made in the face of a combination of factors that are unusual. Hence they involve an improvement or modification of common routines.

Innovative decisions.

Innovative decisions are choices based on the discovery, identification and diagnosis of unusual and ambiguous problems and/or the development of unique or creative alternative solutions. By its nature, these decisions imply a break with the past and are almost never presented in logical and orderly sequence. Usually based on information that changes at high speed.

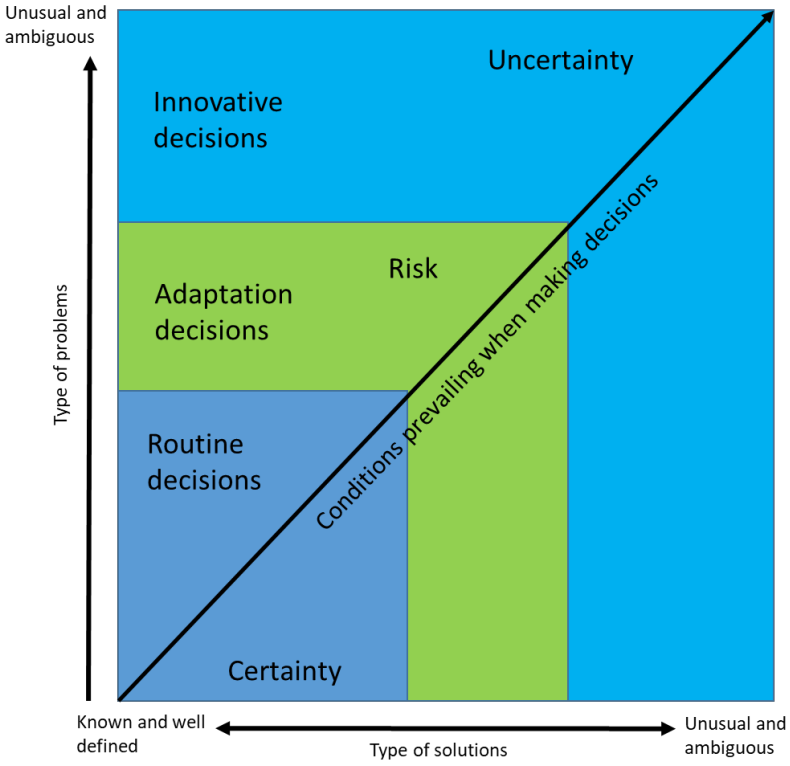


Figure 2. Types of decisions

Técnicas de mantenimiento basado en condición e Inteligencia Artificial

A pesar de que se ha demostrado que la función de mantenimiento juega un papel preponderante en la producción es un desafío muy conocido en la industria de fabricación, el cómo cuantificar los efectos y el valor de mantenimiento. Los efectos suelen ser aplazados, por lo que es difícil verificar los beneficios por adelantado y argumentar a favor de las inversiones de mantenimiento [7]. Por ello, se deben proponer políticas de mantenimiento óptimas, capaces de generar un plan que contenga un conjunto de reglas y proporcionen una orientación para la correcta gestión de la función de mantenimiento [8], [9] y su aplicación.

El avance tecnológico ha impulsado el desarrollo de sistemas cada vez más complejos. Esta complejidad también se asocia a las tareas de mantenimiento, lo cual exige la implementación de sistemas inteligentes que permitan la optimización de las tareas de monitoreo [8], [9], [10], [11], con el objetivo primordial de incorporarlo dentro del MBC a través de la familia de normas ISO 17359-2011 [12], e ISO 55000 [13], con el manejo óptimo de activos.

En este apartado se presenta un estudio de distintos casos, en los cuales se implementan sistemas basados en condición como soporte a la toma de decisiones considerando técnicas de inteligencia artificial.

El monitoreo de la condición es el proceso de supervisión de un parámetro de condición en la maquinaria, con el fin de identificar un cambio significativo en sus variables de medición (temperatura, ruido, contaminantes, vibraciones), que es indicativo de un fallo en desarrollo. Se trata de un componente notable del mantenimiento predictivo cuyo uso permite que se programen acciones que deben tomarse para evitar el fallo y, desde luego, sus consecuencias.

En la Tabla 1, se puede apreciar diferentes técnicas del monitoreo de la condición utilizadas en sistemas industriales.

Tabla 1. Técnicas de monitorizado

Aplicaciones									
Tecnologías	Bombas	Motores eléctricos	Generadores diésel	Condensadores	Maquinaria pesada	Válvulas	Intercambiadores de calor	Transformadores	Tanques y tuberías
Análisis de vibraciones	x	x	x		x				
Análisis de lubricantes	x	x	x		x			x	
Análisis de desgaste de partículas	x	x	x		x				
Análisis de temperatura	x	x	x		x				
Análisis de ultrasonido	x	x	x	x		x	x	x	
Termografía infrarroja	x	x	x	x	x	x	x	x	
Inspección visual									x
Análisis de corriente		x							

Condition-based maintenance techniques and Artificial Intelligence

Although it has been shown that the maintenance function plays a preponderant role in production, how to quantify the effects and maintenance value is a well-known challenge in the manufacturing industry,. The effects are often deferred, making it difficult to verify the benefits in advance and to argue in favour of maintenance investments [7]. Therefore, optimal maintenance policies should be proposed, capable of generating a plan containing a set of rules and providing guidance for the proper management of the maintenance function [8], [9] and its implementation.

Technological progress has driven the development of increasingly complex systems. This complexity is also associated with maintenance tasks, which requires the implementation of intelligent systems that allow the optimization of monitoring tasks [8], [9], [10], [11], with the primary objective of incorporating it into the MBC through the ISO 17359-2011 family of standards [12], and ISO 55000 [13], with optimal asset management.

This section presents a study of different cases, in which condition-based systems are implemented to support decision-making utilizing artificial intelligence techniques.

Condition monitoring is the process of monitoring a condition parameter in machinery, in order to identify a significant change in its measurement variables (temperature, noise, contaminants, vibrations), which is indicative of a developing failure. It is a notable component of predictive maintenance whose use allows actions to be programmed to avoid failure and, of course, its consequences.

In Table 1, you can see different condition monitoring techniques used in industrial systems.

Table 1. Condition monitoring techniques

APPLICATIONS									
Technologies	Pump	Electric motors	Diesel generators	Capacitors	Civil machinery	Hydraulic valves	Heat exchangers	Transformers	Tanks and pipes
Vibration analysis	x	x	x		x				
Lubricant analysis	x	x	x		x			x	
Particle wear	x	x	x		x				
Particle wear	x	x	x		x				
Ultrasound	x	x	x	x		x	x	x	
Infrared thermography	x	x	x	x	x	x	x	x	
Visual inspection									x
Current analysis		x							

Propuestas de modelos de gestión de mantenimiento

Se define como “modelo” a una descripción de un proceso, sistema o concepto, en forma sencilla y sistemática, que por lo general implica un formalismo matemático explícito del proceso en estudio. En la optimización de las políticas de mantenimiento, se define como “modelo” a una descripción de un proceso para modelar, analizar y determinar la política óptima de mantenimiento, considerando objetivos y criterios de mantenimiento predeterminados por la Alta Dirección. Los modelos utilizados para derivar la política de óptima de mantenimiento generalmente deben cubrir cuatro aspectos principales.

Las causas que han impulsado a estos estudios, tienen su origen, en contar con equipos con una mayor disponibilidad, ya que, para ser más competitivas, las organizaciones se empiezan a preocupar por aquellos parámetros de mantenimiento que pueden incidir en la disponibilidad de sus equipos.

Una segunda causa es crematística, es decir, procesos en los que la industria, empieza a optimizar sus costes de producción, en los cuales el mantenimiento en los últimos años supone un porcentaje nada despreciable, ello debido a la inclusión de tecnología, manejo de personal y gestión de costes en los procesos de mantenimiento.

Luego de una revisión exhaustiva, se presenta un resumen con las principales técnicas que se deben tomar en consideración para la propuesta global de la función de mantenimiento, Tabla 2

En este sentido los modelos deben estar enfocados a dar sustento a cada una de las aéreas que se han identificado como herramientas de gestión; como lo son, estudios de confiabilidad, técnicas de monitoreo de la condición, metodologías de mantenimiento “RCM y TPM”, técnicas de Inteligencia Artificial aplicada a la gestión del mantenimiento y metodologías para la gestión de la confiabilidad humana.

Tabla 2. Técnicas utilizadas en la gestión de mantenimiento

TÉCNICA UTILIZADA									
AÑO	TPM	RCM	Inteligencia Artificial	Cuadro de mando Integral	Indicadores “KPIS”	Tecnologías de información y comunicación (TIC)	Factores humanos	Monitoreo de la condición	Costes
1990				X	X				
1992		X	X						
1995						X			
1997	X					X			
2000						X			
2001						X			
2000						X	X		
2002							X		
2006	X					X			
2007		X	X					X	
2013						X	X		
2015						X			
2016			X		X	X		X	X
2019			X					X	X

Proposed maintenance management models

A "model" is defined as a description of a process, system or concept, in a simple and systematic way, which usually involves an explicit mathematical formalism of the process under study.

In the optimization of maintenance policies, a "model" is defined as a description of a process to model, analyze and determine the optimal maintenance policy, considering objectives and maintenance criteria predetermined by Senior Management. The models used to derive the optimal maintenance policy should generally cover four main aspects.

The causes that have driven these studies have their origin in having teams with greater availability, since, to be more competitive, organizations begin to worry about those maintenance parameters that may influence the availability of their equipment.

A second cause is crematistic, that is, processes in which the industry begins to optimize its production costs, in which the maintenance in recent years is a not insignificant percentage, due to the inclusion of technology, personnel management and cost management in maintenance processes.

After a thorough review, a summary is presented with the main techniques to be taken into consideration for the overall proposal of the maintenance function, Table 2

In this sense, the models should be focused on supporting each of the areas that have been identified as management tools; as they are, reliability studies, condition monitoring techniques, maintenance methodologies "RCM and TPM", Artificial Intelligence techniques applied to maintenance management. and methodologies for the management of human reliability.

Table 2. Techniques used in maintenance management

Techniques									
Yaer	TPM	RCM	Artificial intelligence	Balanced scorecard	Key performance indicators	Information and Communication Technologies	Human Factor	Condition monitoring	Cost
1990				X	X				
1992		X	X						
1995						X			
1997	X					X			
2000						X			
2001						X			
2000						X	X		
2002							X		
2006	X					X			
2007		X	X					X	
2013						X	X		
2015						X			
2016			X		X	X		X	X
2019			X					X	X

Conclusiones

Las empresas deben ser emprendedoras para vencer los retos que se presentan al momento de integrar la información contenida en la base de datos de los sistemas de Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador (GMAO), con la información obtenida mediante la inspección visual de los equipos, que además debe incluir la interacción entre el proceso de operación propio de los equipos y el software de MBC, con una interfaz basada en el desarrollo de sensores inteligentes. La integración de todos estos elementos es la base para la consolidación de una visión holística de la condición de los equipos que permite aumentar los niveles de tolerancia al fallo mediante la detección, diagnóstico y predicción de fallas de manera más efectiva y confiable.

Conclusions

Companies must be entrepreneurs to overcome the challenges that arise when integrating the information contained in the database of Computer Assisted Maintenance Management (GMAO) systems, with the information obtained by visual inspection of the equipment, which should also include the interaction between the equipment's own operating process and the MBC software, with an interface based on the development of intelligent sensors. The integration of all these elements is the basis for the consolidation of a holistic vision of the condition of the equipment that allows to increase the levels of tolerance to the failure through the detection, diagnosis and prediction of failures in a more effective and reliable way.

Bibliografía

[1] R. Dekker, «Applications of maintenance optimization models: a review and analysis», *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 51, n.º 3, pp. 229–240, 1996, doi: https://doi.org/10.1016/0951-8320(95)00076-3.

[2] A. Van Horenbeek, L. Pintelon, y P. Muchiri, «Maintenance optimization models and criteria», *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag.*, vol. 1, n.º 3, pp. 189–200, 2010.

[3] P. A. Scarf, «On the application of mathematical models in maintenance», *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 99, n.º 3, pp. 493–506, 1997.

[4] P. Oborski, «Developments in integration of advanced monitoring systems», *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 75, n.º 9, pp. 1613-1632, dic. 2014, doi: 10.1007/s00170-014-6123-x.

[5] C. Mechefske y Z. Wang, «Using fuzzy linguistics to select optimum maintenance and condition monitoring strategies», *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 15, n.º 6, pp. 1129-1140, nov. 2001, doi: 10.1006/mssp.2000.1395.

[6] Y. Peng, M. Dong, y M. J. Zuo, «Current status of machine prognostics in condition-based maintenance: a review», *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 50, n.º 1, pp. 297-313, sep. 2010, doi: 10.1007/s00170-009-2482-0.

[7] L. Wang, J. Chu, y J. Wu, «Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process», *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 107, n.º 1, pp. 151-163, may 2007, doi: 10.1016/j.ijpe.2006.08.005.

[8] R. Keith, *An Introduction to Predictive Maintenance*. Elsevier, 2002.

[9] G. Waeyenbergh y L. Pintelon, «CIBOCOF: A framework for industrial maintenance concept development», *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 121, n.º 2, pp. 633-640, oct. 2009, doi: 10.1016/j.ijpe.2006.10.012.

[10] S. S. Blanco, «Optimización integral del mantenimiento.», *Manten. Ing. Ind. Edificios*, n.º 161, pp. 22-29, 2003.

[11] R. C. M. Yam, P. W. Tse, L. Li, y P. Tu, «Intelligent Predictive Decision Support System for Condition-Based Maintenance», *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 17, n.º 5, pp. 383-391, feb. 2001, doi: 10.1007/s001700170173.

[12] ISO 17359, «Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines», *ISO*, 2018.http://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/07/11/71194.html (accedido sep. 18, 2019).

[13] ISO 55000, «Asset management - Overview, principles and terminology», 2014. http://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/05/50/55088.html (accedido sep. 18, 2019).

MODEL REALIZACJI PROJEKTU INWESTYCYJNEGO W POLITECHNICE ŚLĄSKIEJ

MODEL OF IMPLEMENTATION OF AN INVESTMENT PROJECT AT THE SILESIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Krzysztof Wodarski
Katedra Zarządzania i Logistyki, Wydział Organizacji i Zarządzania Politechnika Śląska, Zabrze, Polska;
E-mail: krzysztof.wodarski@polsl.pl
Department of Managment and Logistic Faculty of Organisation and Managment, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland, Ph.D., E-mail: krzysztof.wodarski@polsl.pl

Seweryn Tchórzewski
Katedra Zarządzania i Logistyki, Wydział Organizacji i Zarządzania Politechnika Śląska, Zabrze, Polska;
E-mail: seweryn.tchorzewski@polsl.pl
Department of Managment and Logistic Faculty of Organisation and Managment, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland, Ph.D., E-mail: seweryn.tchorzewski@polsl.pl

Marcin Górski
Katedra Inżynierii Budowlanej, Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska, Gliwice, Polska;
E-mail: marcin.gorski@polsl.pl
Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland, Ph.D., E-mail: marcin.gorski@polsl.pl

Ewa Kamińska
Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska, Gliwice, Polska; inżynier, student,
E-mail: ewakami046@studen.polsl.pl
Faculty of Civil Engineering, SilesianUniversity of Technology, Gliwice, Poland,
Student, E-mail: ewakami046@studen.polsl.pl

Magdalena Ostrowska
Wydział Organizacji i Zarządzania Politechnika Śląska,Zabrze, Polska; inżynier, student,
E-mail: magdaost98@gmail.com
Faculty of Organisation and Managment, SilesianUniversity of Technology, Gliwice, Poland,
Student, E-mail: magdaost98@gmail.com

Arkadiusz Dokupil
Wydział Organizacji i Zarządzania Politechnika Śląska,Zabrze, Polska; student,
E-mail: arkadiusz.dokupil@gmail.com
Faculty of Organisation and Managment, SilesianUniversity of Technology, Gliwice, Poland,
Student, E-mail: arkadiusz.dokupil@gmail.com

Albert Strzedulla
Wydział Organizacji i Zarządzania Politechnika Śląska,Zabrze, Polska; student,
E-mail: albertstrzedulla@gmail.com
Faculty of Organisation and Managment, SilesianUniversity of Technology, Gliwice, Poland,
Student, E-mail: albertstrzedulla@gmail.com

Szymon Szatka
Wydział Organizacji i Zarządzania Politechnika Śląska,Zabrze, Polska; student,,
E-mail: szatka.szymon@gmail.com
Faculty of Organisation and Managment, SilesianUniversity of Technology, Gliwice, Poland,
Student, E-mail: szatka.szymon@gmail.com

Abstract

Whole project trays to find the good and the bad practice used in a Sliesian Univesity of Technology during the leading the investment processes. Analysis of knowledge among the contractors about the digital methods of project management also the possibilities of using BIM methods in small investment projects.

Keywords

BIM, Facility Management, Investment project,

Introduction

Students at Silesian University of Technology witness numerous projects like domestic, international, structural and infrastructural or even educational and scientific ones. As a PBL (Project Based Learning) group, we were supposed to investigate the investment projects of Silesian University of Technology. The basic scope of the study was to analyze the documentation of the projects prepared by the authorities responsible for project management at Silesian University of Technology. However, due to the legal matters, such records could not be obtained since those projects were funded by private investors. Consequently, the scope of the study had to be altered and some public tenders were taken into cosideration instead. Focusing on investment projects, constructions and refurbishments, the PBL group conducted the research, results of which can be found in the following chapter.

The implementation of the project began on 21st October 2020 with meeting the PBL group members and their supervisors, exchanging ideas and claryfing the aim of the project. As a part of the project, the students of Faculty of Organization and Management and Facuty of Civil Engineering partcipated in lectures about project management, project funding and accounting, introduction to BIM studies and investment projects themselves. The lectures were given by the academics of Silesian Unversity of Technology and aimed at completing the participants' knowledge. In order to fully understand the legal background of Silesian University of Technology, the students familiarized with the legal acts and regulations concerning laws and recommendations of project management that are in force at their university. Having done that, the study moved on to an initial phase of implementation, aimed at creating the model of project management at Silesian University of Technology. After it had been accepted by the supervisors, the PBL group started the analysis of the documentation. The records concerned the BIO-FARMA, the Center of Biotechnology, Bioengineering and Bioinformatics and the testing of them let the group reach some initial conclusions. To assess the project, the students participated in a training course about PEB standard, namely IPMA Project Excellence Baseline by IPMA International Project Management Excellence Award Assessor. Therefore, the next stage could be begun. It was about analyzing the public contracts of Silesian University of Technology to select the suppliers and contractors of 2020 according to the tenders reported by the Department of Orders and Supplies at Silesian University of Technology. There was created a document cataloguing the inventoried contracts of Silesian University of Technology, focusing on investment projects. The document included types of contracts, the value of them and the companies which had won. 11 companies were selected and, in phase five, they were e-mailed the survey created in phase four. The final, sixth phase, was about drawing the conclusions of the conducted survey and its results as well as creating the general model of project management at Silesian University of Technology (pointing out improvements in management of investment projects and introducing some facilities while using BIM technology). The objective of the project was reached.

WSTĘP

Ucząc się na Politechnice Śląskiej, studenci są świadkami wielu projektów. Od projektów krajowych, strukturalnych, infrastrukturalnych, międzynarodowych na projektach edukacyjnych i badawczych kończąc. Jako grupa PBL (Project Based Learning) postawiono przed nami cel, zbadania przebiegu projektów inwestycyjnych w Politechnice Śląskiej. Podstawowy zakres projektu, zakładał przeprowadzenie analizy dokumentacji projektowej przygotowanej przez organ odpowiedzialny za zarządzania projektami na Politechnice Śląskiej. Jednak z powodów czysto prawnych, nie mogliśmy uzyskać dokumentacji z projektów, które finansowane były z pieniędzy prywatnych inwestorów. W związku z tym zakres projektu badawczego w trakcie realizacji projektu, musiał zostać zmieniony. Aby dowiedzieć się więcej informacji na temat projektów, postanowiono wziąć pod lupę przetargi ogłoszone w biurze informacji publicznej. Skupiając się na projektach inwestycyjnych oraz budowach i renowacjach grupa PBL przeprowadziła badania, których wnioski mogą Państwo przeczytać w kolejnym rozdziale, poświęconym w całości badaniom.

Realizację projektu rozpoczęto 21 października 2020 roku. Projekt rozpoczął się od spotkania członków zespołu i opiekunów naukowych projektu, oraz od zderzenia ze sobą paru wizji na realizację projektu. Spotkanie miało na celu weryfikację klarowności celu projektu. W ramach projektu realizowanego w murach Politechniki Śląskiej, studenci Wydziału Organizacji i Zarządzania oraz Wydziału Budownictwa mieli okazję uczestniczyć w zajęciach wyrównujących wiedzę z czterech

zakresów: zarządzania projektami, finansowania i rozliczania projektów, wprowadzenia do filozofii BIM oraz z zakresu procesów inwestycyjnych oraz samych projektów inwestycyjnych. Zajęcia wyrównujące przeprowadzili pracownicy Politechniki Śląskiej. Aby każdy członek doskonale zrozumiał zaplecze prawne projektów realizowanych na badanej uczelni; studenci zaznajomili się z szeregiem aktów prawnych Politechniki Śląskiej traktujących o obowiązujących przepisach oraz zaleceniach przy organizacji projektu. Po uporządkowaniu wiedzy, projekt badawczy przeszedł do fazy realizacji, której pierwszym etapem było stworzenie przez członków zespołu projektowego wzorca zarządzania projektami w Politechnice Śląskiej. Akceptacja wzorca przez opiekunów naukowych projektu pchnęła projekt dalej. Grupa przeszła do realizacji prac związanych z analizą dokumentacji projektowej. Dokumentacja do której dostęp posiadali studenci dotyczyła bardzo dużego i skomplikowanego projektu - Śląskiej BIO-FARMY, Centrum Biotechnologii, Bioinżynierii i Bioinformatyki. Podczas analizy dokumentacji projektowej członkowie zespołu wyciągali pierwsze wnioski zderzając teorię projektową z praktyką (dokumentacją projektową). Aby przeprowadzić ocenę projektu, członkowie zespołu projektowego mieli okazję uczestniczyć w kolejnym szkoleniu, tym razem szkolenie dotyczyło przybliżenia pojęcia standardu PEB czyli "wytycznych doskonałości IPMA w zarządzaniu projektami dla ciągłego doskonalenia w projektach i programach". Po szkoleniu, które dla zespołu przeprowadził Asesor IPMA International Project Management Excellence Award, zespół mógł rozpocząć skomplikowany proces oceny projektu inwestycyjnego. Czwarta faza projektu zakładała analizę zamówień publicznych Politechniki Śląskiej w celu wyłonienia dostawców i wykonawców prac budowlanych na rok 2020 pod kątem przetargów zgłoszonych przez Dział Zamówień i Zaopatrzenia Politechniki Śląskiej. W tym celu zespół stworzył dokument zinwentaryzowanych przetargów Politechniki Śląskiej ze szczególnym wyróżnieniem projektów inwestycyjnych. W dokumencie członkowie wskazali typ przetargu, wartość zamówienia, oraz nazwę przedsiębiorstwa które wygrało przetarg. Na tej podstawie wyłonionych zostało 11 firm na których przeprowadzone zostało badanie. Piąta faza zakładała stworzenie ankiety badawczej, która służyć miała członkom zespołu projektowego do wyciągnięcia ostatecznych wniosków projektowych. Ankieta badawcza została rozesłana do przedsiębiorstw wyłonionych w fazie czwartej. Kontakt z przedsiębiorstwami przebiegał z wykorzystaniem e-maila. Szósta faza polegała na wyciągnięciu wniosków z ankiet przeprowadzonych w fazie piątej, oraz stworzeniu uniwersalnego modelu zarządzania projektem na Politechnice Śląskiej (wskazanie usprawnień, które można wprowadzić w procesie zarządzania projektami inwestycyjnymi w Politechnice Śląskiej, oraz wprowadzenie możliwych udogodnień w zakresie projektowania z wykorzystaniem technologii BIM). Zakładany cel projektu został osiągnięty przez zespół projektowy.

Research

Investigating the process of project management at Silesian University of Technology required a survey. It consisted of 20 questions, and it concerned construction companies cooperating with Silesian University of Technology. 2/3 of them were referred to as small companies while the others were classified as micro-enterprises. All of them work at the area of Silesian Voivodship.

The survey has shown that the companies have not perceived the orders as projects due to the profile of public contracts announced by Silesian University of Technology. Usually, those were some simple tasks or some minor parts of bigger projects that were not complicated. Because of the companies' high specialization and the experience gained over the years, they have not applied any project management methodology, not only in their own orders but also while cooperating with Silesian University of Technology. Implementing similar projects throughout years have not required introducing such methodology.

The interviewees pointed out that while cooperating with Silesian University of Technology they have not got any schedule of work but could take advantage of their high specialization, experience and repetitiveness of the orders.

Only 70% of the companies admitted to keep detailed risk assessment sheets, yet still focusing mainly on changeable weather conditions that may affect the site works or on the hazardous job of steeplejacks.

Having analyzed the frequency of contacts between the companies and Silesian Uniersity of Technology, various answers were given what suggests that there was no timetable concerning this matter as well. Some companies reported their progress more often than once a week while others did that once a month or even less regularly, only at the request. What should be improved is the regularity of these contacts, what can be done by setting the frequency of conducted meetings and updating the work progresses. Lack of such regularity in communication has influenced perceiving the alterations in the scope of works or timetable. The companies blamed the inadequate competency of supervisors working on behalf of Silesian University of Technology and the problems with accepting the necessary changes which their decisions entailed.

Among all the companies taking part in the survey, only one has named the order as a project. However, this company does not specialise in any particular area what affects it effectiveness while implementing the task. Moreover, it does not apply any common methodology but the one invented by themselves and has been using it to manage their project risk, the scope of work, the timetable and the budget.

When it comes to technology used to manage the project, Excel has been chosen by all the companies. None of them decided to use more advanced tools like Ms Project. Interpersonal communication was based on phone calls or mails, what has proven no need for using remote working tools.

Badania

Zbadanie procesu zarządzania projektami na Politechnice Śląskiej polegało na przeprowadzeniu badań ankietowych. Ankieta składała się z 20 pytań, natomiast grupą badawczą były przedsiębiorstwa zajmujące się realizacją zleceń budowlanych, które współpracowały z Politechniką Śląską. Wśród ankietowanych ⅔ przedsiębiorstw posiadało status małego przedsiębiorstwa, natomiast pozostała część klasyfikowała się jako mikrofirmy. Wszystkie przedsiębiorstwa działają na terenie województwa Śląskiego.

Badania ankietowe wykazały, że przedsiębiorstwa realizacją zleceń nie traktowały jako projekty. Respondenci wskazywali na brak wykorzystania metodyki zarządzania w swoich przedsiębiorstwach, a co za tym idzie również podczas współpracy z PŚ. Zgodnie z informacjami uzyskanymi za pomocą wywiadu

z przedstawicielami firm wynikało to głównie z wysokiej specjalizacji przedsiębiorstw oraz wieloletniego doświadczenia na rynku. Podczas wykonywania zleceń podobnych, lub często identycznych przez okres kilkuletni, firmy te nie odczuwały potrzeby wprowadzania konkretnych metodyk. Dodatkowo nietraktowanie zlecenia jako projekt wynikało z charakterystyki ogłaszanych przez Politechnikę Śląską zamówień publicznych. Zlecenia te były zazwyczaj prostymi pracami lub małymi częściami większych projektów. Ich zakres był mało skomplikowany. Przedsiębiorstwa podchodziły do zleceń procesowo, posiadając własne podejście procesowa wypracowane przez lata działalności, a także ze względu na specjalizację w danych pracach.

Ankietowani wskazali także, że w trakcie realizacji zlecenia dla Politechniki Śląskiej nie posiadali szczegółowego harmonogramu prac. Aspekt ten wynika z wysokiej specjalizacji przedsiębiorstw oraz

z powtarzalności realizowanych zadań.

W przypadku zarządzania ryzykiem w trakcie realizacji zleceń niecałe 70% badanych przedsiębiorstw wykazało, że prowadziło szczegółowe karty ryzyka. Do najczęstszych czynników ryzyka wymienianych podczas wywiadu bezpośredniego były zmienne warunki atmosferyczne, mogące wpłynąć na prace inwestycyjno-remontowe oraz ryzyko związane z bezpieczeństwem pracy na wysokości, na której specjaliści wykonują swoje prace.

W pytaniu o częstotliwość komunikacji stanu prac z Politechniką Śląską respondenci wskazywali na zróżnicowane odpowiedzi. Niektóre firmy komunikowały postępy częściej niż raz w tygodniu, podczas gdy inne tylko raz na miesiąc lub nieregularnie na wniosek własny lub klienta. Odpowiedzi

wskazują na brak ustalonej częstotliwości prowadzenia spotkań i raportowania postępów prac. Można zatem uznać, że w projektach realizowanych na Politechnice Śląskiej należałoby ustalić regularne spotkania koordynacyjne z wykonawcami. Brak regularnej komunikacji rzutuje również na odpowiedziach respondentów na temat zmian związanych z zakresem zleceń. W realizowanych pracach często występowały znaczące mniej lub bardziej zmiany, które dotyczyły głównie harmonogramów i zakresu działań. Jako główne znaczenie zmian zakresu można oznaczyć niedostateczny poziom kompetencji nadzorującego zlecenie ze strony PŚ oraz nagłe decyzje inwestora - Politechniki Śląskiej. Ankietowani wskazywali na problem Politechniki Śląskiej związany z zaakceptowaniem wprowadzania koniecznych dla zleceń zmian. Politechnika Śląska według respondentów nie akceptowała przekształceń.

Spośród wszystkich ankietowanych tylko jedna firma wskazała na realizację zlecenia jako projekt. Firma ta jednak nie jest wyspecjalizowana w konkretnej dziedzinie co uniemożliwia efektywną pracę bez odpowiedniego podejścia do zlecenia. Nie działają jednak na żadnej z przyjętych na rynku metodyk, a na opracowanej przez siebie. Zarządzają oni w ten sposób ryzykiem projektowym, zakresem, harmonogramem oraz budżetem.

W przypadku wykorzystywanych technologii podczas zarządzania zleceniem, każda z ankietowanych firm do prowadzenia harmonogramu zlecenia wykorzystywała excela. Brak tutaj bardziej złożonych narzędzi takich jak Ms Project. W przypadku komunikacji między osobami realizującymi zlecenie w pełni sprawdzały się takie rozwiązania jak e-maile czy rozmowy telefoniczne co również wskazuje na brak potrzeby komunikacji przez narzędzia służące pracy zdalnej.

BIM (definition, usage, recommendations)

BIM has been one of the hottest issues in the worldwide engineering for the last few years. Some see it as a miraculos tool that has to improve the productivity of construction industry, while for others it is a kind of extravagance, which gaming freaks would like to introduce to traditional construction projects in forms of three-dimensional models and animations. Generally, BIM should be perceived as a revolution in thinking about a building construction and all the phases of its existence, from planning to demolition. BIM is a method of digital planning of the construction project which allows all the people involved to have an access to these resources. BIM stands for 'building information modeling' or 'building information management' which cleraly corresponds with the tasks of Facility Managament, namely the supervision of the phases of a building existence, management of the building itself as well as of its economical exploitation. That idea was taken from the Product Information Management which has been in use since the 1980's in numerous branches of industry. Throughout the years, this methodology has been evolving significantly, allowing for a smoother, more conscious and economical management of a certain product. BIM technology is gaining more and more supporters and plenty of governments are starting to require using BIM technology in public contracts.

According to the conducted research, using BIM technology in public contracts of Silesian University of Technology is not justified from a financial point of view. The works proceeded for Silesian University of Technology are more like modernization works or some renovations and they are carried out by small companies. Employing BIM technology would require a time-consuming and costly inventory as well as it would make the contractors use particular software, which, nowadays, is quite expensive. Therefore, these companies would transfer their incurred costs on the client, in this case, on Silesian University of Technology.

Summing up, the possible cost of using BIM technology in public contracts of Silesian University of Technology is not economical since the similar effects may be reached with traditional method of construction management. If that were to be profitable, a detailed inventory of the buildings should be considered, regardless of planned modernization or renovation works. Nowadays, when Silesian University of Technology do not own any digital models of its buildings, investing into such an inventory might have just long-term effects, not only on buildings management, by facilitating and equilizing it, but also on financial matters.

BIM (definicja, zastosowanie, rekomendacje)

BIM to jeden z najgorętszych tematów w światowym budownictwie ostatnich lat. Dla jednych jest to Święty Graal, który ma cudownie poprawić coraz gorsze wskaźniki produktywności sektora budowlanego Dla innych jest pewną mrzonką i zwykłą ekstrawagancją, w której maniacy gier komputerowych chcieliby wprowadzić do tradycyjnych projektów budowlanych swoje trójwymiarowe modele i animacje [1].W ogólności BIM należałoby traktować jako rewolucję w sposobie myślenia o obiekcie budowlanym i wszystkich procesach dotyczących jego cyklu życia, począwszy od stadium planowania, aż do momentu rozbiórki. BIM jest to metoda cyfrowego planowania projektu budowlanego w taki sposób, aby wszyscy zainteresowani mieli dostęp do tworzonych zasobów. Skrót BIM rozwijamy jako – Building Information Modeling, czyli modelowanie informacji o budynku lub Building Information Management, czyli zarządzanie informacją o budynku. W tym miejscu widać bezpośrednie odniesienie do zadań Facility Management'u czyli dziedziny zajmującej się koordynacją cyklu życia obiektu, zarządzaniem obiektem i jego ekonomiczną eksploatacją. Idea została zaczerpnięta z koncepcji modelowania informacji o produkcie (Product Information Management), która stosowana była już od lat 80 ubiegłego wieku w wielu gałęziach przemysłu. Metodologia ta w przemyśle ewoluowała w sposób znaczący przez ostatnie lata, umożliwiający tym samym, bardziej płynne, świadome i ekonomiczne zarządzanie danym produktem.Wykorzystanie technologii BIM znajduje coraz szersze grono zwolenników, a rządy wielu Państw zaczynają wprowadzać wymóg stosowania BIM'u w zamówieniach publicznych.

Przeprowadzone badania na rzecz niniejszego projektu pokazują, że wymaganie wykorzystania technologii BIM w zamówieniach publicznych Politechniki Śląskiej nie jest obecnie uzasadnione z ekonomicznego punktu widzenia. Zlecenia prowadzone na rzecz Politechniki Śląskiej z reguły mają charakter prac remontowych lub modernizacyjnych, a przedsiębiorstwa realizujące te zlecenia nie są zbyt duże. Przeprowadzenie remontu bądź modernizacji jakiegokolwiek obiektu Politechniki Śląskiej na dzień dzisiejszy musiałoby zostać poprzedzone pracochłonną i kosztowną inwentaryzacją stanu istniejącego. BIM'owiskie ujęcie pociągałoby za sobą konieczność wymagania od wykonawców stosowania odpowiedniego oprogramowania. W chwili obecnej programy do zarządzania obiektem w technologii BIM są relatywnie drogie, a potencjalne firmy wykonawcze, któe realizowałyby w tej technologii swoje zlecenia musiałyby przenieść poniesione przez siebie koszty na ostatecznego odbiorcę, tj. Politechnikę Śląską w tym wypadku.

Zatem potencjalnie poniesione koszty byłyby niewspółmiernie duże do zamierzonego efektu, który można obecnie osiągnąć znacznie niższym kosztem stosując tradycyjne metody zarządzania obiektem i inwestycją. Rozważając możliwość wprowadzenia BIM'u w publicznych zamówieniach realizowanych w Politechnice Śląskiej, należałoby w pierwszej kolejności rozważyć wykonanie szczegółowej inwentaryzacji obiektów, w sposób niezależny od planowanych modernizacji i remontów. Na obecnym etapie, na którym Politechnika Śląska nie dysponuje modelami cyfrowych bliźniaków swoich obiektów, inwestycja w inwentaryzację infrastruktury nosi znamiona długofalowych korzyści. Przykładem takich korzyści jest łatwiejsze, bardziej zrównoważone i ekonomiczne zarządzanie poszczególnymi obiektami. Warto zatem rozważyć możliwość zinwentaryzowania obiektów niezależnie od prowadzonych prac remontowych, w których w obecnej sytuacji wykorzystanie BIM'u w zarządzaniu jest ekonomicznie nie uzasadnione.

Summary

At the beginning, the objective of the project was creating a general model of investment project management. However, due to already mentioned complications, it had to be changed. We took into cosideration the tenders concerning construction and renovation works, making a database, creating the survey and analyzing the results of it. It turned out that most of the companies cooperating with Silesian University of Technology are the small and micro- ones and they do not perceive the orders given as projects since they are limited in scope, repetitive and do not require any new schedules. There is also a very little risk attached to both the budget and the prices. Yet, having no formal requirements concerning reporting the current state of works have led to inefficient flow of information. What is more, some mistakes in measurements made by Silesian University of

Technology forced the contractors to introduce sudden alterations which have enlarged the scope and the costs of the projects.

All in all, there should be created and imposed a document which clearly states and regulates the matters of communication while carrying out any works in cooperation with Silesian University of Technology, which also ought to take more precise bills of quantities in the future. As a result, the communication between both sides involved would be smooth and estimating the costs and time needed for particular projects would be easier and thorough.

Podsumowanie

Efektem końcowym projektu od początku miał być stworzony przez zespół model zarządzania projektem inwestycyjnym lecz przez wspomniane wcześniej w artykule komplikacje cel ten musiał ulec zmianie. Skupiliśmy naszą uwagę na przetargach dotyczących robót budowlanych oraz renowacyjnych, stworzyliśmy bazę kontaktów do wykonawców i przesłaliśmy ankiety oraz przeprowadziliśmy wywiady z wybranymi firmami. Z przeprowadzonych badań wynika że większość firm realizujących małe oraz średnie zlecenia na Politechnice Śląskiej nie traktuje ich jako projekt ze względu na mały zakres jaki one obejmują, prace te często są powtarzalne i nie wymagają tworzenia nowego harmonogramu, budżet tak samo jak i ryzyko w tych zleceniach rzadko ulega zmianie ze względu na krótki czas realizacji, a wahania cen praktycznie nie występują. Z Ankiety można również wywnioskować iż brak formalnego dokumentu określającego formę oraz częstotliwość komunikowania stanu prac, przez co przepływ informacji był zakłócony. Dodatkowo błędy w przedmiarach przygotowanych przez Politechnikę Śląską wymuszały na zleceniobiorcach wprowadzanie nieplanowanych zmian które zwiększały zakres projektu oraz idące za tym koszty.

Podsumowując, w celu usprawnienia przebiegu zleceń na Politechnice Śląskiej zaproponowano stworzenie dokumentu określającego wszelkie zagadnienia dotyczące komunikacji podczas wykonywanych prac oraz dokładniejsze wykonywanie przedmiarów dla obiektów przetargu. Zmiany te ułatwią komunikację oraz pozwolą na dokładniejsze określenie kosztów oraz czasu potrzebnego na wykonanie zlecenia

PROPTECH: LA TECNOLOGÍA COMO NUEVA BARRERA DE ENTRADA EN LA INTERMEDIACIÓN INMOBILIARIA

PROPTECH: TECHNOLOGY AS A NEW BARRIER TO ENTRY IN REAL ESTATE BROKERAGE

Juan Carlos Asensio-Soto
Doctorando en Administración y Dirección de Empresas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Graduado en Administración y Dirección de Empresas por la Universitat Oberta de Catalunya. Máster en Formación del Profesorado de Secundaria, Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanzas de Idiomas por la Universidad Católica de Valencia; Director y Co Fundador de Vivendi Group Real Estate. Profesor en la Universidad Europea de Valencia.
E-mail: juaasso@doctor.upv.es
Doctoral student in Business Management and Organization. Universitat Politècnica de València. Bachelor Degree in Business Administration and Management at Universitat Oberta de Catalunya. Master's Degree in Teachers' Training at Universidad Católica de Valencia. Director and co-founder of Vivendi Group Real Estate. Lecturer at Universidad Europea de Valencia.

Elena Navarro-Astor
Departamento de organización de empresas. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Universitat Politècnica de València (UPV). Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesora Titular de Universidad. Doctora en Organización de Empresas por la UPV. E-mail: enavarro@omp.upv.es
Department of Business Organization. School of Building Enginering. Universitat Politècnica de València. Senior Lecturer. Phd in Business Organization at UPV.

Abstract

The Spanish real estate brokerage sector has been traditionally characterised by the poor qualification of its professionals and its low barriers to entry. This research analyses whether the arrival of new online businesses, known as proptech, is having an impact on this paradigm. In order to gather a comprehensive view of the sector from different perspectives, semi-structured in-depth interviews have been carried out with five professionals with high responsibility in the main proptech companies in real estate brokerage in Spain, and twenty professionals responsible for traditional real estate agencies located in Valencia.

It is concluded that there is a direct relationship between the creation of a proptech agency and the high level of qualification of its managers. This is not the case with traditional agencies, where only a small percentage of their managers have higher education. Hence qualifications may constitute a new barrier to entry that could filter access to the sector for future real estate agents. In addition, both business models prioritise people's social skills when recruiting commercial staff. Finally, this study contributes to existing academic literature by providing important information on a relatively new topic such as the arrival of proptech in the context of the Spanish real estate sector.

Keywords

Barriers to Entry, Proptech, Real Estate Sector, Traditional Brokerage Agency

Introducción

El uso de nuevas tecnologías digitales e informáticas se está generalizando de manera progresiva y silenciosa en un sector inmobiliario caracterizado por su escasa capacidad para innovar y mantener una posición transformadora respecto a otros sectores (Baum 2017, Roulac 2019, Saiz 2020). Este cambio del sector está teniendo impactos perceptibles en distintos ámbitos como el proceso de intermediación con el cliente, la búsqueda de vivienda o la creación de plataformas online (Saiz 2020). Constituye una revolución tecnológica conocida por los profesionales inmobiliarios como "proptech", que en los últimos años ha modificado el sector de forma importante (Baum 2017, Roulac 2019).

Durante años, el sector inmobiliario se ha caracterizado por distintos rasgos como su bajo índice de innovación tecnológica en comparación con otras industrias (Abbot et al. 2006, Davidson 2013, Baum 2017, Roulac 2019), un cierto grado de opacidad (Buxmann & Gebauer 1998), y una baja productividad y escasa cualificación de sus profesionales (Castells 2016, Filstad & Gottschalk 2009). Todo ello puede favorecer la existencia de escasas barreras de entrada, otra de sus principales características (Yinger 1981, Anglin & Arnott 1999).

Las barreras de entrada se definen como "condiciones del mercado que imposibilitan o dificultan la entrada de empresas a una industria para competir con los productores o proveedores existentes (Myers 2019: p. 171). Distintos trabajos académicos las clasifican como formales e informales o directas e indirectas. Las barreras formales o directas son aquellas variables relacionadas con la burocracia y la regulación, por ejemplo, en forma de impuestos y leyes (Nishiotis 2004). Las barreras informales o indirectas representan riesgos que pueden afectar a la capacidad de inversión y no son fáciles de definir y de preveer (Baum & Murray 2011).

Unas de las principales barreras formales de entrada en cualquier mercado son las impuestas por las leyes que lo regulan. En el caso de la intermediación inmobiliaria en España, estas restricciones desaparecen con la aprobación del Real Decreto-Ley de Medidas Urgentes de Liberalización en el Sector Inmobiliario y Transportes (Real Decreto-Ley 4/2000, de 23 de junio). Su artículo 3 "Condiciones para el ejercicio de la actividad de intermediación inmobiliaria" indica: "Las actividades enumeradas en el artículo 1 del Decreto 3248/1969, de 4 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de los Colegios Oficiales de Agentes de la Propiedad Inmobiliaria y de su Junta general, podrán ser ejercidas libremente sin necesidad de estar en posesión de título alguno ni de pertenencia a ningún Colegio oficial". Así, otras barreras de entrada como poseer una titulación habilitante o disponer de un domicilio social, desaparecieron también tras la aprobación de esta normativa.

Esta desregularización del sector, unida a las altas comisiones derivadas de la intermediación en la compraventa, han atraído a numerosos agentes inmobiliarios que han abierto negocios tradicionales, siendo esto socialmente ineficiente (Hsieh & Moretti 2003). Además, a diferencia de otros sectores más profesionalizados, la gran mayoría de las personas que trabajan en la comercialización de servicios inmobiliarios carecen de la formación y capacitación profesional adecuadas para su desempeño (Roulac 2019).

Sin embargo, con la incorporación de la tecnología y la consecuente necesidad de profesionales cualificados, este paradigma empieza a cambiar de forma natural modificando las reglas del juego del sector (Asensio-Soto & Navarro-Astor 2019, Hernández 2019). Surge así una barrera de entrada digital categorizada como medio-alta que podría filtrar el acceso al sector de los futuros agentes inmobiliarios.

Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es analizar si la aparición de nuevas empresas más tecnológicas y con un modelo de negocio enfocado en la virtualidad está modificando las barreras de entrada al sector de la intermediación en la compraventa de vivienda. Los objetivos secundarios son conocer y comparar el nivel de cualificación de las personas encargadas de dirigir tanto las proptech como las agencias tradicionales, así como los requisitos que exigen en sus procesos de reclutamiento de nuevos agentes comerciales.

Introduction

The use of new digital and information technologies is spreading progressively and silently in a real estate sector characterised by its limited capacity to innovate and maintain a transforming position with respect to other sectors (Baum 2017, Roulac 2019, Saiz 2020). This development of the real estate sector is having noticeable impacts in different areas, such as the brokerage process with the customer, the search for housing or the creation of online platforms (Saiz 2020). It represents a technological revolution known by real estate professionals as "proptech", which in recent years has changed the sector considerably (Baum 2017, Roulac 2019).

For many years, the real estate sector has been characterised by different features such as a low rate of technological innovation compared to other industries (Abbot et al. 2006, Davidson 2013, Baum 2017, Roulac 2019), a certain lack of transparency (Buxmann & Gebauer 1998), and a low productivity and poor qualification of its professionals (Castells 2016, Filstad & Gottschalk 2009). This may favour the existence of low barriers to entry, another of its main characteristics (Yinger 1981, Anglin & Arnott 1999).

According to Myers (2019: p. 171), barriers to entry are defined as “conditions in the market place that make it either impossible or difficult for firms to enter an existing industry and offer competition to existing producers or suppliers”. Academic literature classifies them as formal and informal or direct and indirect. Formal or direct barriers are those variables related to bureaucracy and government regulation, for example in the form of taxes and legislation. Informal or indirect barriers represent risks that can affect investment capacity and are not easy to define and predict (Baum & Murray 2011).

One of the main formal barriers to entry in any market are those imposed by the laws that regulate it. In reference to real estate brokerage in Spain, these restrictions disappear with the passing of the Royal Decree Law 4/2000 dated June 23, regarding Urgent Liberalisation Measures in the Real Estate and Transport Sector. More specifically, Article 3 "Conditions for the practice of real estate brokerage" states: The activities listed in Article 1 of Decree 3248/1969, dated 4 December, approving the Regulations of the Associations of Real Estate Brokers and their General Assembly, may be freely exercised without the need to hold any title or to belong to any official Association". Thus, other barriers to entry, such as being qualified or having a registered office, also disappeared after the approval of this regulation.

This sector's deregulation coupled with the high brokerage fees, has attracted many real estate agents who have opened traditional businesses in the sector, which are socially inefficient. Moreover, unlike other sectors with higher professional status, the vast majority of people working in housing brokerage and real estate marketing services lack the appropriate education and professional training for the job (Roulac 2019).

However, with the adoption of technology and the resulting need for qualified professionals, this paradigm is naturally beginning to change, modifying the sector's rules of the game (Asensio-Soto & Navarro-Astor 2019, Hernández 2019). This creates a digital barrier to entry categorised as medium-high that could filter access to the sector for future real estate agents.

Aims

The main aim of this research is to analyse whether the emergence of new, more technological companies with an online business model is modifying the barriers to entry into the housing brokerage sector.

The secondary aims are to find out and compare the qualification level of the people who manage both proptech and traditional agencies, as well as the requirements demanded in their recruitment processes for new salespersons.

Metodología

El enfoque seguido es principalmente cualitativo, plasmado en un trabajo de campo consistente en entrevistar tanto a agencias proptech de intermediación en la compraventa de viviendas online, como a agencias inmobiliarias tradicionales.

Han participado un total de cinco agencias españolas proptech (Tabla 1). Su selección se debe, por un lado, a que la finalidad de su actividad coincide con los objetivos de investigación, y por otro, a su importancia competitiva y de facturación en el sector. Se ha entrevistado a 4 CEO y, en el caso de Housfy, a una persona con importantes responsabilidades y habilitada para servir como voz autorizada de la empresa. Las 5 entrevistas tuvieron lugar entre noviembre de 2020 y enero de 2021, fueron realizadas de modo virtual y tuvieron una duración de entre 60 y 90 minutos.

Respecto a las agencias tradicionales, se ha entrevistado a 20 responsables de inmobiliarias ubicadas en la ciudad de Valencia (Tabla 2). La elección de Valencia se debió principalmente a consideraciones pragmáticas relacionadas con la accesibilidad y los recursos disponibles siendo ésta el lugar de residencia de los autores. El periodo de entrevistas se desarrolló desde finales de 2019 y el primer semestre de 2020, fueron cara a cara y tuvieron una duración comprendida entre los 30 y 60 minutos.

El guión de la entrevista tiene un formato semi-estructurado, contempla una variedad de temas en torno a la historia de la agencia y la persona entrevistada, y profundiza en el desarrollo de las nuevas tecnologías, su influencia en el sector y la convivencia entre las nuevas agencias proptech y las tradicionales. Para esta investigación se profundiza en los siguientes aspectos: el uso de las tecnologías y el nivel de cualificación como posibles barreras de entrada en el sector inmobiliario.

Todas las entrevistas, tanto las realizadas a las proptech como a la agencia tradicional, fueron registradas mediante grabadora de voz, para ser posteriormente transcritas y analizadas

Las entrevistas proporcionan una visión global que permite comprender un sector inmobiliario que se encuentra en pleno proceso de transformación en el que la agencia tradicional comparte espacio con las nuevas agencias virtuales, las proptech.

Resultados

En la Tabla 1 se observa que las 8 personas que ostentan el cargo de CEO en las proptech (7 hombres y una mujer) tienen estudios superiores de relevancia, la mayoría ha llegado a nivel de máster y uno tiene el doctorado. Además, estos estudios están relacionados directamente con el mundo de la empresa y la informática, estando por tanto orientados a la actividad empresarial que realizan. No hay que olvidar que se trata de empresas con un alto componente digital ya que su esencia es 100% online.

Cuando se les pregunta sobre la necesidad y la utilidad de poseer estudios superiores a la hora de crear una proptech, existe casi unanimidad de respuesta al considerar que no han sido decisivos por su contenido académico, sino por otros factores. Estos pueden ser los contactos que pudieron establecer en su última etapa académica de máster en escuelas superiores y de prestigio, así como aspectos positivos relacionados con una mejora en su capacidad de enfoque o de estructura mental. Las siguientes palabras explican bien esta idea:

“La carrera tampoco me sirvió para nada, que no quiere decir que estudiar una ingeniería en la Politécnica no sea bueno, pues para tener cierto tipo de estructura mental y capacidad de enfoque de problemas, pero a nivel práctico no. El máster sí (…) tienes muy presente algunas cosas como contabilidad, estrategia empresarial o recursos humanos y luego también porque al final te abre puertas con cierto tipo de inversores por cómo planteas las cosas.” (CEO 1 – Deplace)

“A nivel inmobiliario no, o sea, real estate, inmobiliario, nada. En la carrera no explican nada, no había nada, cero, cero. Sí que es verdad que a nivel financiero bien, muy bien, excelente. Ha habido muchas cosas que me han ayudado, la red de alumnos, la red de contactos la verdad es que ayuda. Ya te digo, yo en ese sentido bien. No todo, pero algunas cosas me han venido bien.” (CEO 2 – Prontopiso)

Methods

The approach followed is mainly qualitative, based on fieldwork involving interviews with both proptech agencies dedicated to online housing brokerage and traditional real estate agencies.

A total of five Spanish proptech agencies have participated (Table 1). They were selected because, on the one hand, the purpose of their activity matches the research objectives and, on the other, because of their competitive and turnover importance in the sector. Interviews have been carried out with 4 CEOs and with a person with significant responsibilities and qualified to serve as the company's authorised voice, in the case of Housfy. The 5 interviews took place between November 2020 and January 2021, were conducted online and lasted between 60 and 90 minutes.

With regard to traditional agencies, 20 heads of real estate agencies located in the city of Valencia were interviewed (Table 2). The choice of Valencia was mainly due to practical considerations related to accessibility and available resources, as it is the place of the authors' residence. The interview period ran from the end of 2019 to the first half of 2020, the interviews were face-to-face and lasted between 30 and 60 minutes.

The interview script has a semi-structured format, covers a variety of topics related to the agency's and the interviewee's history, and delves into the new technologies development, its influence on the sector and the co-existence between the new proptech agencies and the traditional ones. The following issues are explored further in this research: use of technologies and qualification as potential barriers to entry into the real estate sector.

All the interviews, both those with the proptechs and the more traditional agency, were recorded using a voice recorder and then transcribed and analysed.

The interviews provide a global view that allows us to understand the context of a real estate sector that is currently undergoing a process of transformation where traditional agencies are sharing space with the new virtual agencies, the proptechs.

Results

Table 1 shows that the 8 people holding the position of CEO in the proptech agencies (7 men and 1 woman) all have relevant higher education studies, most have attained a Master's degree and one even has a PhD. Moreover, these studies are directly related to the business world and IT, and are therefore oriented to the business activity they carry out. It should not be forgotten that these are firms with a high digital element, as their essence is 100% online.

When asked about the need and value of higher education in setting up a proptech, there is almost unanimity in the opinion that it was not the academic content that was crucial, but other factors. These could be the contacts they were able to establish in their last academic stage during the completion of Master's degrees in prestigious schools, as well as positive aspects related to an improvement in their ability to focus or mental structure. The following words explain this idea well:

"The bachelor's degree didn't help me at all either, which is not to say that studying engineering at the Polytechnic is not good, in terms of having a certain type of mental structure and the ability to approach problems, but not on a practical level. The master's degree does (...) you are very aware of certain things such as accounting, business strategy or human resources and also because in the end it opens doors for you with certain types of investors because of the way you approach things". (Deplace CEO1)

"Not at the real estate level, that is, real estate, real estate, nothing. At undergratuate level they explain nothing, there was nothing, zero, zero. However, on the financial level, it is true that it was good, very good, excellent. There have been many things that have helped me, the student network, the network of contacts, the truth is that it helps. I tell you, I'm fine in that sense. Not everything, but some things have been good for me". (Prontopiso CEO 2).

Tabla 1. Descripción de las agencias Proptech entrevistadas

Table 1. Description of interviewed Proptech agencies

Proptech	**Cargo** Position	**Género** Gender	**Cualificación** Qualification	**Año de creación** Year of foundation	**Nº de empleados** Number of employees	**Ingresos de Explotación** Operating income
1. Deplace	CEO 1*	Hombre Male	Ingeniería de caminos Máster (MBA) Civil Engineering Master's degree (MBA)	2017	16	427.557 €
	CEO 2	Mujer Female	Relaciones Públicas Máster Ventas Máster Negocio Digital Public Relations Sales Master's Degree Master's Degree in Digital Business			
	CEO 3	Hombre Male	Ingeniería de caminos Máster MBA Civil Engineering Master's degree (MBA)			
2. Housfy	CEO	Hombre Male	Administración de Empresas Máster (MBA) Business Administration Master's degree (MBA)	2017	150	4.327.390 €
3. Housell	CEO*	Hombre Male	Ingeniería Informática Computer Engineering	2017	100	6.862.000 €
4. Prontopiso	CEO 1	Hombre Male	Administración de Empresas Postgrado Administración de Empresas Máster pymes Business Administration Postgraduate course in Business Administration Master's degree in SMEs	2017	11	165.346 €
	CEO 2*	Hombre Male	Dirección de Empresas Máster MBA Business Management Master's degree (MBA)			
5. Kasaz	CEO*	Hombre Male	Doctor en Ciencias de la Informática PhD in Información Science	2017	10	---

Fuente: Elaboración propia

Source: Own elaboration

*Profesionales entrevistados. En el caso de Housfy, se entrevistó al jefe de comunicación.
*Professionals interviewed. In the case of Housfy, the head of communication was interviewed.

Tabla 2. Características de las agencias tradicionales entrevistadas
Table 2. Characteristics of the interviewed traditional real estate agencies

	Cualificación del participante **Participant qualification**	Género **Gender**	Antigüedad agencia **Age of agency**	Nº de comerciales **Number of salespersons**
Inmobiliaria 1 Agency 1	Cursos inmobiliarios Real estate training	Hombre Male	4	3
Inmobiliaria 2 Agency 2	Jardín de infancia, peluquería y estética Kindergarten, hairdressing and beauty salon	Mujer Female	4	5
Inmobiliaria 3 Agency 3	Cursos inmobiliarios Real estate training	Hombre Male	7	4
Inmobiliaria 4 Agency 4	Ciclo Formativo Grado Superior Administración Advanced Vocational Qualificalio in Administration	Hombre Male	3	5
Inmobiliaria 5 Agency 5	Estudios básicos Basic studies	Hombre Male	11	6
Inmobiliaria 6 Agency 6	Delineante Draughtsman	Mujer Female	11	4
Inmobiliaria 7 Agency 7	Licenciada en Derecho y ADE Bachelor in Law and Business Administration	Mujer Female	16	23
Inmobiliaria 8 Agency 8	Licenciada en ADE Bachelor in Business Administration and Management	Mujer Female	6	3
Inmobiliaria 9 Agency 9	Estudios básicos Basic studies	Mujer Female	3	1
Inmobiliaria 10 Agency 10	Peluquería y estética Hairdressing and beauty salon	Mujer Female	5	7
Inmobiliaria 11 Agency 11	Cursos inmobiliarios Real estate training	Hombre Male	2	2
Inmobiliaria 12 Agency 12	Estudios básicos Basic studies	Hombre Male	7	9
Inmobiliaria 13 Agency 13	Cursos inmobiliarios Real estate training	Hombre Male	3	8
Inmobiliaria 14 Agency 14	Formación profesional en edificación Vocational training in building	Mujer Female	13	4
Inmobiliaria 15 Agency 15	Arquitecto técnico Building engineer	Mujer Female	6	5
Inmobiliaria 16 Agency 16	COU Pre-university course	Mujer Female	14	3
Inmobiliaria 17 Agency 17	Licenciado en ADE Bachelor in Business Administration and Management	Hombre Male	6	3
Inmobiliaria 18 Agency 18	Cursos en administración Management training	Mujer Female	6	2
Inmobiliaria 19 Agency 19	Cursos inmobiliarios Real estate training	Mujer Female	2	3
Inmobiliaria 20 Agency 20	Cursos inmobiliarios Real estate training	Mujer Female	4	2

Fuente: Elaboración propia
Source: Own elaboration

En cambio, el CEO de Housell, s í destaca la importancia de haber realizado sus estudios en ingeniería informática y lo relaciona con la necesidad del uso de datos en un negocio digital en la toma de decisiones:

“Mucho, muchísimo. Los negocios digitales llevados al extremo son súper numéricos y lejos de que el emprendimiento muchas veces se mueve por estómago, nosotros, los estudios de mercado los hacemos dos veces al año. Además intentamos que los errores muestrales sean menores del 5%. Tenemos gente en el equipo que viene de empresas de estudios de mercado. Sabemos que el cómo lo preguntes, el cómo interpretes los resultados, te puede llevar a tomar decisiones absolutamente distintas. Entonces le damos mucha importancia.” (CEO – Housell)

Cuestionados sobre su equipo comercial y los requisitos que exigen a la hora de reclutar, los CEO proptech coinciden en que lo más importante es que tengan habilidades sociales, seguido de tener experiencia en el sector. Inciden también en detectar que sean “buenas personas”.

En el caso de la formación de los/as responsables de las agencias tradicionales entrevistados (ver Tabla 2), tan sólo un 30% reconoce tener estudios superiores. Estos están relacionados con la arquitectura técnica, el derecho o la administración de empresas en su mayoría. El resto (70% de la muestra) indica tener estudios básicos, procediendo de ocupaciones o sectores que nada tienen que ver con el sector inmobiliario como pueden son el de la peluquería, la estética, y el jardín de infancia. En algunos casos, la única formación relacionada con el sector que poseen son cursos inmobiliarios proporcionados por las mismas agencias.

Respecto a la cualificación exigida a sus equipos comerciales, los empleadores de la agencia tradicional destacan las habilidades sociales e interpersonales como esenciales para la realización del trabajo.

Destacar también que, siendo resultado de la innovación tecnológica, todas las proptech son agencias de reciente creación (año 2017), mientras que la antigüedad de las agencias tradicionales estudiadas muestra una gran dispersión, yendo desde los 2 hasta los 16 años. La antigüedad media de la muestra es de 6 años y medio, pero es muy heterogénea. Solo un 25% de las agencias tradicionales igualan o superan los 10 años de experiencia en el sector, lo que demuestra su naturaleza cíclica.

Conclusiones

Proptech es un concepto reciente en el sector inmobiliario que suscita gran interés entre los profesionales y en el ámbito académico. Sin embargo, las investigaciones centradas en el contexto español son escasas. Este trabajo es pionero y contribuye a la literatura académica, analizando cómo la aparición de nuevas agencias online está modificando las barreras de entrada al sector de la intermediación en la compraventa de vivienda. Los resultados que aquí se presentan, basados en entrevistas en profundidad con responsables de empresas proptech y de agencias tradicionales, suponen un primer paso en el conocimiento del impacto que estas empresas pueden tener en el sector.

El nacimiento de las proptech en la intermediación en la compraventa de vivienda requiere de importantes conocimientos previos que no eran necesarios con el modelo de negocio tradicional. Estos conocimientos podrían suponer una nueva barrera de entrada a un sector que hasta hace poco se caracterizaba por su ausencia. Esta barrera de entrada se está haciendo propia de las nuevas empresas online, pues los nuevos profesionales que entran al mercado poseen una alta cualificación. Además de proporcionar conocimiento, los estudios superiores mejoran la red de contactos de los y las profesionales e incrementan su capacidad de análisis y reflexión.

Por el contrario, esta barrera de entrada sigue sin ser de importancia en el caso de la agencia tradicional, al menos en su fase inicial. Sería interesante realizar un estudio en fases más avanzadas ya que la agencia física se encuentra en un periodo de transición hacia la digitalización en el que posiblemente sí requiera de profesionales más cualificados.

Instead, Housell's CEO does highlight the importance of having studied computer engineering and relates it to the need to use data for decision-making in a digital business:

“Very, very much so. Digital businesses taken to the extreme are super numerical and, far from the fact that entrepreneurship is often driven by stomach, we carry out market research twice a year. We also try to ensure that sampling errors are less than 5%. We have people on the team who come from market research companies. We know that the way you question, the way you interpret the results, can lead you to make completely different decisions. So we give a lot of importance to that”. (Housell CEO)

Asked about their sales team and the requirements they set when recruiting, proptech CEOs agree that the most important thing is that they have social skills, followed by experience in the sector. They also stress that they should be "good people”.

Regarding the educational background of the interviewees in charge of traditional real estate agencies (see Table 2), only 30% acknowledge having higher education studies. These are mostly related to building engineering, law or business administration. The rest (70% of the sample) report having basic studies, coming from occupations or sectors that have nothing to do with real estate, such as hairdressing, beautician, and kindergarten. In some cases, the only training related to the sector they have are real estate courses provided by the agencies themselves.

With respect to the qualifications of their sales teams, traditional agency employers highlight social and interpersonal skills as essential for job performance.

It should also be noted that, being a result of technological innovation, all the proptech agencies are recently created (2017), while traditional agencies studied show wide age dispersion, ranging from one year to 15 years old. The average age of the sample is 6 years, but it is very heterogeneous. Only 25% of the traditional agencies equal or exceed 10 years of experience in the sector, proving its cyclical nature.

Conclusions

Proptech is a relatively new concept in the real estate sector and is of great interest among professionals and in academia. However, research focused on the Spanish context is scarce. This paper is a pioneering contribution to the academic literature, analysing how the emergence of new online agencies is changing the barriers to entry into the real estate brokerage sector. The results presented here, based on in-depth interviews with managers of proptech companies and traditional agencies, represent a first step in understanding the impact that these companies may have on the sector.

The emergence of proptech in residential real estate brokerage requires significant prior knowledge that was not necessary with the traditional business model. This knowledge represents a new barrier to entry in a sector that was until recently characterised by its absence. This barrier to entry is becoming a feature of new online companies, as the new professionals entering the market are highly qualified. In addition to knowledge, higher education improves professional’s network of contacts and increases their capacity for analysis and reflection.

In contrast, this barrier to entry remains unimportant in the case of the traditional agency, at least in its initial phase. It would be interesting to carry out a study in more advanced phases, as the physical agency is in a period of transition towards digitalisation that may require more qualified professionals.

Finally, it should be noted that although there are important differences in the early stages of the creation of both business models, similar qualifications are required in the recruitment processes of their commercial staff. Thus, social skills and experience take precedence over qualifications, confirming and maintaining one of the most characteristic features of the real estate sector.

Por último, destacar que si bien es cierto que se aprecian importantes diferencias en las primeras fases de creación de ambos modelos de negocio, se exige similar cualificación en los procesos de reclutamiento de su personal comercial. Así, priman las habilidades sociales y la experiencia sobre la cualificación, confirmando y manteniendo uno de los rasgos más característicos del sector inmobiliario.

BIBLIOGRAFÍA / BIBLIOGRAPHY

- Abbot, C., Jeong, K. & Allen, S. (2006). The economic motivation for innovation in small construction companies. *Constr. Innovation*, 6 (3): 187–196
- Anglin, P. & Arnott, R. (1999). Are Brokers' Commission Rates on Home Sales Too High? A Conceptual Analysis, *Real Estate Economics* 27, 719-749.
- Asensio-Soto & Navarro-Astor (2019). Proptech in Spain: a first approximation. In: Albiol J.R. and Medina F.J. (eds). *Research in Building Engineering*, *Exco'19*. 14-23.
- Asensio-Soto & Navarro-Astor (2020) Aproximación a la agencia inmobiliaria tradicional: adaptabilidad y digitalización. *III Congreso Iberoamericano de Jóvenes Investigadores en Ciencias Económicas y Dirección de Empresas*, 68-80.
- Baum, A., & Murray, C. (2011). Understanding the Barriers to Real Estate Investment in Developing Economies. Working Papers in Real Estate & Planning 03. United Kindong: Henley Business School.
- Baum, A. (2017). PropTech 3.0: the future of real estate. University of Oxford.
- Davidson, C. (2013). "Innovation in construction—Before the curtain goes up." *Constr. Innovation* 13(4): 344–351.
- Buxmmann, P., & Gebauer, J. (1998). Internet -based intermediaries- the case of the real estate market. 6th European Conference on Information. Aix en Provence, France: ECIS'98.
- Castells, M. (2016). De la crisis económica a la crisis política. Una mirada crítica. Libros de Vanguardia.
- Filstad, C., & Gottschalk, P. (2009). How Knowledge Organizations Work: The Case of Real Estate Agencies. *International Real Estate Review*, 88-97.
- Hernández, J. (2019). Marketing inmobiliario en la era digital. Estrategias para captar más clientes y vender más viviendas online. Ed. Jorge Hernández.
- Hsieh, C. and Moretti, E. (2003). "Can Free Entry Be Inefficient? Fixed Commissions And Social Waste In The Real Estate Industry, *Journal of Political Economy*, 111(5): 1076-1122.
- Myers, D. (2019). Economics and Property. Routledge, 4th Edition.
- Nishiotis, G. P. (2004). Do Indirect Investment Barriers Contribute to Capital Market Segmentation? The *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 39(3): 613-630.
- Real Decreto 1294/2007, de 28 de septiembre, por el que se aprueban los Estatutos Generales de los Colegios Oficiales de Agentes de la Propiedad Inmobiliaria y de su Consejo General.
- Real Decreto-Ley 4/2000, de 23 de junio, de Medidas Urgentes de Liberalización en el Sector Inmobiliario y Transportes.
- Roulac, S. (2019). The industrial revolution remembers. *Journal of Property Investment and Finance*, 37(4): 380-39.
- Saiz, A. (2020). Bricks, mortar, and proptech: The economics of IT in brokerage, space utilization and commercial real estate finance , *Journal of Property Investment and Finance*, 38(4): 327-347.
- Yinger, J. (1981). A Search Model of Real Estate Broker Behavior, *American Economic Review*, American Economic Association, 71(4): 591-605

Agradecimientos

Se agradece a Carolina Mollá su colaboración en la realización de algunas entrevistas a agencias tradicionales de intermediación inmobiliaria.

Acknowledgements

We would like to thank Carolina Mollá for her collaboration in conducting some interviews with traditional brokerage agencies.

CHAPTER 2

ENVIRONMENT

CAPÍTULO 2 ***MEDIO AMBIENTE***

DE RESIDUO A MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN EN EL ASENTAMIENTO INFORMAL DE KIBERA (KENIA)

FROM WASTE TO CONSTRUCTIVE SYSTEM IN THE INFORMAL SETTLEMENT OF KIBERA (KENYA)

Quiteria Angulo Ibáñez
Investigador en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas; UniversitatPolitècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Asociado, Arquitecto. Doctora en Arquitectura por la UPV. E-mail:quianib@csa.upv.es
Researcher in the Department of Architectural Constructions; UniversitatPolitècnica de València, Assistant Professor. Architect. PhD in Architecture by the UPV. E-mail: quianib@csa.upv.es

Elena Vecino Puente
Arquitecto / Architect

Abstract
The uncontrollable urban sprawl is changing our conception of the cities. While African societies have the highest growth rate in the world, a quickly over-urbanization of their cities is generating the spread of informal settlements. Lack of human rights pool those places, demanding dire interventions of technical experts. Architects and urban planners must innovate their constructive systems to achieve development goals in African cities.

An example of good practice in the precarious settlement of Kibera, located in the capital city of Kenya, is exposed in this document. Reusing plastic waste as a constructive material to build a recycling plant in the informal neighborhood contributes to reduce the pollution while is generating a new method of auto-construction. Validating new ways of building through current research could help to develop sustainable human settlements, using the architecture not as an end in itself, but as a tool for human development.

Keywords
Ecobrick, PET, Recycling, Constructive system, Bottle wall, Informal settlement, Kibera.

Introducción

Aunque el surgimiento de las ciudades suele atribuirse a las relaciones comerciales, los procesos de industrialización históricos impulsaron una expansión acelerada de los espacios urbanos. La migración del campo a la ciudad en busca de nuevas oportunidades transformó drásticamente los asentamientos humanos.

A pesar de que existen ejemplos de grandes ciudades en el continente africano previas a las invasiones colonizadoras, es durante la colonización europea cuando África subsahariana comienza a urbanizarse. Este proceso de urbanización colonial inicia en las ciudades portuarias con el comercio trasatlántico de esclavos entre los siglos XVI y XIX y, posteriormente mantenidas para el comercio internacional de materias primas todavía vigente en nuestra sociedad global. Esta nueva colonización basada en la extracción de los recursos naturales propició el resurgimiento de nuevas ciudades entorno a las asiduas explotaciones mineras del continente.

Una de las características de los asentamientos humanos subsaharianos producidos por las migraciones campo-ciudad que difieren de las ciudades occidentales es la ruralización de lo urbano. Además, en algunas ocasiones también se produce el contra-urbanismo o fenómeno de retorno al mundo rural, urbanizando así el campo. La naturaleza de estas proliferaciones urbano-rurales están diversificando el concepto de ciudad occidental, abriendo nuevos horizontes llenos de posibilidades.

La multiplicidad exponencial de asentamientos precarios y excluidos en las ciudades es una realidad mundial en aumento, la cual, se estima para el 2050 que el 58% de la población mundial habite en asentamientos informales. Esta realidad toca de primera mano al continente africano al disponer de una de las tasas de sobre-urbanización (velocidad de crecimiento) más altas del mundo *(Ver imagen 1)* y uno de los números más bajos de profesionales del urbanismo y planeamientos urbanos vigentes.

Esta situación hace inminente la intervención profesional de diversa índole, pero en especial de la rama del urbanismo, proporcionando el derecho a la ciudad; y de la arquitectura, atribuyendo el derecho a una habitabilidad básica.

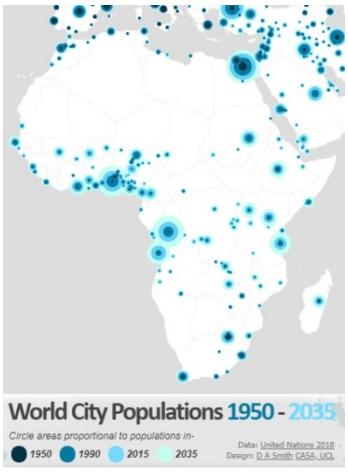


Imagen 1. Crecimiento de las ciudades africanas. Naciones Unidas, 2018. https://luminocity3d.org/WorldCity/

Image 1. Growth of African cities. United Nations, 2018. https://luminocity3d.org/WorldCity/

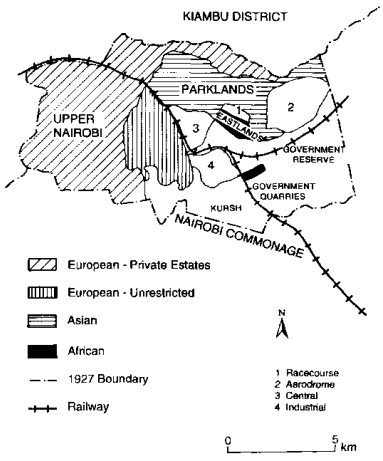


Imagen 2. Planeamiento de segregación racial de Nairobi, 1900. White L. W. T, 1948.

Image 2. Nairobi Racial Segregation Planning, 1900. White L. W. T, 1948.

Introduction

Even though the emergence of the cities is related to the commercial trade, the industrialization process boosted the urban sprawl. Through rural to urban migration, new job opportunities were sought while human settlements were suffering huge transformations.

It is known that major cities in Sub-Saharan Africa were settled before the European invasion, but it is true that while the European colonization happened the urbanization process of the continent grew exponentially. During the transoceanic trade harbour cities were urbanized and they were maintained during the transatlantic slave trade between XVI and XIX as the principal ports. Furthermore, while the colonization time the mining operations caused the emergence of surrounded cities. Actually, those cities has been settled as the principal trading and mining cities for the international trade of raw materials.

One of the characteristic of the Sub-Saharan human settlements which are created because of the rural-to-urban migrations is the ruralisation of the urban, in contrast with Occidental cities. In addition, an opposite urbanization or a return to rural trend is usual, urbanizing the countryside. This change of perception of what a city should be, is diversifying the Occidental city insight opening new horizons full of possibilities.

The exponential multiplicity of precarious and excluded settlements inside the cities is a global reality which is uncontrolled increasing. It is estimated that in 2050 the 58% of the global population will be living in informal settlements. Not only the high rate of over-urbanization (speed of sprawl) of the African continent, but also the lack of current urban plans and urban professionals are heading the worldwide rates *(Picture 1).*

This exceptional condition became diverse professional workers necessary. Specifically to realize the right to the city urban planners are needed, but also to achieve the right of a basic habitability architects are essential.

El asentamiento informal de Kibera

Situado en la capital de Kenia, el asentamiento informal de Kibera, es uno de los más grandes de África subsahariana dando cobijo alrededor de 1 millón de habitantes. La ciudad de Nairobi es el producto de la construcción del ferrocarril a principio del siglo XX por el Imperio Británico, construyéndose desde unos parámetros de segregación racial y la ausencia de la mujer africana *(Ver imagen 2).* Los espacios destinados durante la colonización en la ciudad para los trabajadores locales corresponden con la actual localización de los más de 140 asentamientos informales, acogiendo al 60% de la población metropolitana.

La falta de derechos básicos que inundan las calles de Kibera son el producto directo de la pobreza que existe en el mismo. No sólo la falta de acceso a una educación de calidad o a la sanidad, son realidades cotidianas de sus habitantes, sino que los propios espacios son lugares inseguros y focos de enfermedades evitables. La contaminación de los ríos y calles es un problema real que prolifera sobre todo en la época de lluvias. La presencia de bacterias en el agua hace que las enfermedades allí presentes aumenten con la llegada de las inundaciones; éstas no ocurren exclusivamente por la escasa presencia de alcantarillado, sino que además el poco sistema de saneamiento presente queda bloqueado por la basura inorgánica que generan sus habitantes y cuya recolección es excluida de los sistemas públicos de recogida. *(Ver imagen 3).*



Imagen 3. Contaminación presente en el barrio de Silanga, Kibera. Elaboración propia, 2019.

Image 3. Pollution present in Silanga neighborhood, Kibera. Own elaboration, 2019.

La alta presencia de movimientos sociales locales y ONGDs trabajando en terreno hacen de este asentamiento un sitio más amable. A través de programas comunitarios de diversa índole se alcanza a trabajar sobre muchas de las desigualdades presentes en el asentamiento. Entre estas organizaciones, algunas trabajan con la recogida de residuos para su posterior reciclaje, realizando batidas de limpieza comunitaria que responsabilizan a la propia población beneficiaria de una mejora directa en su salud. Uno de estos grupos comunitarios sería el New Nairobi Dam Community, que junto con la Organización No Gubernamental KUBUKA, han construido una planta de reciclaje en el barrio de Silanga, al sur-oeste del asentamiento. El objetivo de la construcción de esta planta es la de otorgar una sostenibilidad social y económica para el grupo comunitario, a la vez que se dota de un ambiente limpio y cuidado por las propias personas que habitan la zona.

The precarious settlement of Kibera

Located in the capital city of Kenya, the informal settlement of Kibera is one of the biggest slums in Sub-Saharan Africa, housing around 1 million people. Nairobi was born in the beginning of the XX century as an industrial area to build a railway facilitation the exploitation made by de British Empire. Racial segregation and absence of women represent its city plan *(Picture 2)*. The antique locations for local workers during the colonization correspond with the actual locations of the 140 informal settlements where the 60% of the metropolitan population lives.

A lack of human rights pool the streets of Kibera. Not only the few education centres or the bad quality sanitary systems are the diary reality of their inhabitants, but also the spaces are insecure and avoidable source of diseases. Another current issue in the settlement is the river and street pollution. The presence of bacteria in the water increase the spread of diseases during the rainy season. Even though the absence of sewer systems are increasing floods, it is also the inorganic waste generated by Kibera inhabitants and excluded from the public waste disposal service what is blocking the drainage system. *(Picture 3).*

Social movements working with local and international NGO's in terrain are making this place kinder. Through different communitarian programs, a lot of inequalities present on the settlement are reached. Nowadays, some of the organizations are working with the waste disposal service to recycle them. They do clean-ups in the neighbourhood making the inhabitants be responsible of their own health. New Nairobi Dam Community is one of those local groups working on the field. Along with KUBUKA NGO they have built a recycling plant in Silanga village, located in the south-west of the settlement. The main objective of it is to grant the social and economical sustainability for the community group, while a clean and care environment is provided by the own inhabitants of Silanga.

Kleanbera Recycling Plant

Las plantas de reciclaje de 5x 17 metros construida en el barrio de Silanga tiene una estructura está compuesta por 12 pilares de madera de cedro tratada de 5,5 y 4,5 metros de altura y 150mm de diámetro, que se unen a una estructura de vigas en celosía de madera de 50x50mm. La viga en celosía, elemento estructural muy utilizado en Nairobi, queda reforzada por rollos de hierro atornillados a la madera.

La cimentación aislada bajo pilares encamisa con un emparrillado de 6 redondos de ø10 la base del soporte de madera, introducida 0,8 metros en el terreno, habiéndose protegido de humedades por infiltración previamente con un impermeabilizante de polietileno de 1mm de grosor. Las zapatas de 0,5x0,8m quedan arriostradas por una viga de atado de 0,5x0,2m armada longitudinalmente con 3 redondos de ø10 dispuestos simétricamente y transversalmente con 1 redondo de ø8 cada 180mm.

La cercanía al embalse de Nairobi, hace necesario elevar la edificación 1 metro sobre el terreno, evitando posibles inundaciones durante las épocas de lluvias. Esta se realiza utilizando la ‘piedra azul’ de Nairobi, tallada de 0,25x0,5x0,15metros de dimensión. El hueco se rellena con arcilla de laterita compactada manualmente en tres capas, rematando con una solera sobre una lámina impermeabilizante de polietileno. La solera de 15 cm de espesor armada con un mallazo de ø6mm c/20cm se realiza en un único día proyectando mecánicamente el hormigón que ha sido hormigonado

in situ manualmente y vibrado también de una forma manual. Bajo la zona de máquinas, la solera se arma cada 10cm. El cerramiento de cubierta está compuesto por láminas de zinc atornilladas a las vigas en celosía. *(Ver imagen 4).*



Imagen 4. Kleanbera Recycling Plant. Elaboración propia, 2020.

Image 4. Kleanbera Recycling Plant. Own elaboration, 2020.



Imagen 5. Cerramientos con botellas de plástico. Elaboración propia, 2020.

Image 5. Enclosures with plastic bottles. Own elaboration, 2020.

Aunque inicialmente el arquitecto local presupuestó cerramientos de fachada realizados con lámina de zinc atornillada a los pilares, debido a la cercanía de la planta de reciclaje a un colegio de educación primaria, se hace necesario plantear un sistema que aumentara el aislamiento acústico a ruido aéreo, sin desvariar el presupuesto.

Con diversas referencias constructivas locales que lo ponen en práctica como es el colectivo Slum Going Green and Clean así como organizaciones no gubernamentales como es el caso de Arquitectura Sin Fronteras Galicia y el proyecto llevado a cabo en 2011 en Guatemala en colaboración con la Universidad da Coruña, se plantea un sistema de cerramiento ecológico a través de Ecobricks (botellas de plástico PET rellenas de basura plástica) y botellas de plástico PET rellenas de tierra, *(Ver imagen 5),* que potencian la valorización de un residuo, al convertirlo en un recurso, como puede observarse en el detalle constructivo del muro ecológico. *(Ver imagen 6).*

Varios estudios llevados a cabo en la Universidad Politécnica de Valencia y la Universidad Politécnica de Madrid, avalan el plástico como material resistente para la construcción, siendo un material óptimo para el aislamiento térmico y acústico.

Además, comparando los presupuestos para cubrir la necesidad de reducción del ruido aéreo de la planta de reciclaje, se observa que, aunque el precio por metro lineal de fachada solo difiere 1,8€ (en favor de la fachada tipo 2 o muro ecológico), la diferencia del porcentaje destinado a mano de obra y materiales es notoria. *(Ver tabla 1).* En un contexto donde la necesidad de trabajo es tan alta, la elección de un sistema constructivo que priorice la mano de obra a la compra de material, genera un apoyo mayor al desarrollo económico de los beneficiarios.

	Fachada tipo 1	**Fachada tipo 2**
(PEM + MO) /mL	46.6€	44.8€
PEM	98,48%	82,75%
MO	1,52%	17,35%

Tabla 1. Comparativa de los presupuestos de los tipos de fachada propuestas. Elaboración propia, 2020.

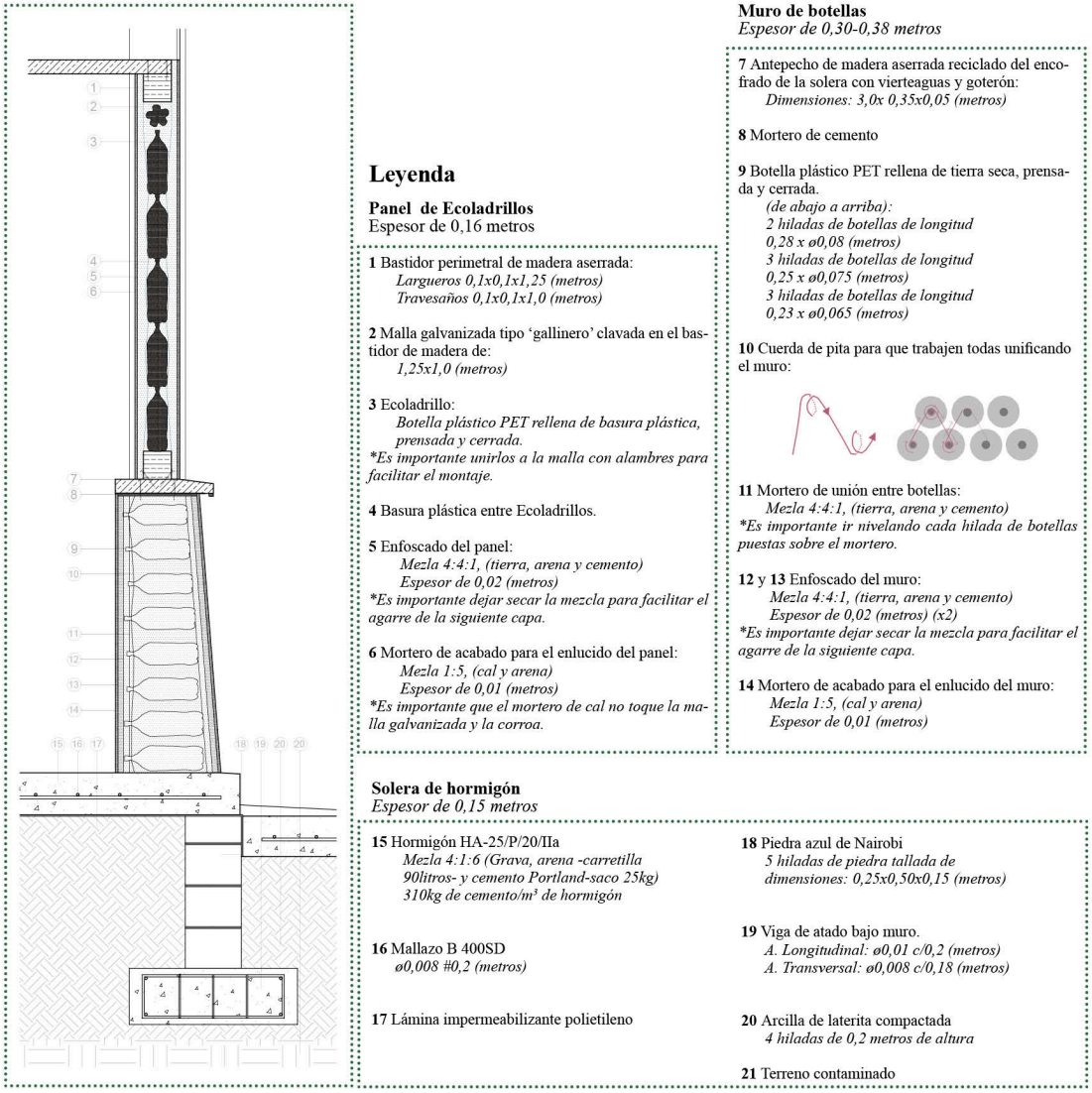


Imagen 6. Detalle constructivo del muro ecológico (fachada tipo 2). Elaboración propia, 2020.

Image 6. Constructive detail of the ecological wall (type 2 facade). Own elaboration, 2020.

Por lo tanto, se concluye que la elección para ejecución de la fachada (2) de un muro ecológico contribuye en mayor medida al objetivo específico del proyecto de otorgar una sostenibilidad económica y social al grupo comunitario Kleanbera Recycling, así como al objetivo general de generar un ambiente limpio y cuidado, al utilizar botellas de plástico recicladas de Kibera. Las mejoras económicas, sociales y medio ambientales que hace este proyecto en el barrio de Silanga son notorias: este proyecto no sólo potencia la actividad comercial entre el asentamiento de Kibera y la ciudad formal, sino que mejora la capacidad económica de las personas beneficiarias.

Además, incide sobre problemas medio ambientales al revalorizar un residuo que el ayuntamiento no está gestionando, y permite reducir la presencia de plástico en el sistema de drenaje, reduciendo así la vulnerabilidad por riesgo de inundación. La reducción de escorrentía originada por agua pluvial provocaría una disminución del riesgo de desastre por deslizamiento de tierras.

En el aspecto social, la involucración directa de muchas personas de diferentes géneros y edades de la comunidad, ha potenciado el espacio como un lugar de reunión entorno al reciclaje.

Kleanbera Recycling Plant

The building is located in Silanga and occupies 85m^2. It structure is made with 6 porticos every 2,80m where each side has cedar pillars 5,5m and 4,5m high, and diameter 150mm width. The wood truss made of 50x50mm strips and reinforced with iron rolls screwed is the most usual structural system used nowadays in Nairobi.

Isolated foundation under pillars is reinforced with 6 iron bars of ø10mm making a grid drilling 0,8m. They are protected from humidity infiltration with a polyethylene waterproof sheet of 1mm width. The foundation of 0,5x0,8m size are braced with a concrete beam of 0,5x0,2m longitudinally reinforced with 3 iron bars of ø10mm symmetrically aligned and transversally reinforced with 1 iron bar of ø8mm every 180mm.

The elevation of 1m over the terrain of the Recycling Plant is the consequence of the proximity to the Nairobi Dam. It has been done to avoid potential floods during the rainy season. That elevation is built with the carved Nairobi's 'blue stone' of 0,25x0,5x0,15m. Filling the space with laterite clay rammed manually in three steps, it is finished with a reinforced concrete slab over a polyethylene waterproof sheet. The slab is reinforced with a grid of ø6mm every 20cm mechanically projected but manually and in situ concreting and vibrating. Under the machine location inside the construction the slab is reinforced every 10cm, instead of 20cm. The roof is enclosed using iron sheets screwed to the wood truss. *(Picture 4).*

Even thought the local architect had already budgeted iron sheets screwed to the pillars for the facade enclosure, the proximity of the Recycling Plant to a school made a isolated to airborne noise facade necessary.

At this point, an ecological facade system was planned made with Ecobricks (PET plastic bottle filled with plastic waste) and PET plastic bottle filled with sand (*Picture 5).* Diverse constructive references in the local surroundings such as Slum Going Green and Clean, as well as a international NGO like Arquitectura Sin Fronteras Galicia and their project executed in 2011 in Guatemala with the University of Coruña, have build already using this interesting new construction method. It is boosting the transformation of waste into a valid resource, as is shown in the constructive detail of the ecological wall. (*Picture 6).*

Few researches have been carried out in Polytechnic University of Valencia and in Polytechnic University of Madrid about using the plastic as a legitimated building material. That new material are optimal in the thermal and acoustic isolation.

Furthermore, the budgets to cover the need to reduce the airborne noise generated by the Recycling Plant have been contrasted. It is shown that the price per lineal meter of facade differs just 1,8€ in favour of the 2nd facade or ecological wall. What is notable of the comparison are the percentages of the budget which would be used for the construction material and the labour *(Chart 1)*. In a context where the rate of unemployment is truly high, choosing a constructive system which is prioritizing the labour before the building material acquisition will generate a higher economical development of the inhabitants.

	1st Facade	2nd Facade
(Material + Labour) /mL	46.6€	44.8€
Material	98,48%	82,75%
Labour	1,52%	17,35%

Chart 1. Comparative of the budgets of two facades proposed. Elaborated by the author, 2020.

Therefore, it is concluded that the execution of the 2nd facade (ecological wall) will contribute better to achieve the specific objective of the project: grant the economical and social sustainability of the communitarian group Kleanbera Recycling. In addition, the general objective which aims to provide a clean and care environment is also achieved while plastic bottles of Kibera are being reused.

Economical, social and environmental improvements in Silanga neighbourhood are notable: this project is not just boosting the commercial activity in the settlement of Kibera with the formal city, but it is also improving the economic capacity of its inhabitants.

The valorisation of a residue which the government is not handling is reducing the presence of plastic in the sewer system. This is reducing the vulnerability of flood risk in Silanga as well as possible landslides.

In social terms, direct involvement of multi-gender and multi-age people of the community, drives up meeting points based on recycling.

Conclusiones

Al poner la arquitectura al servicio de las personas, ésta deja de entenderse como un fin en sí mismo para pasar a ser una herramienta que trabaja para el desarrollo humano y su derecho legítimo a habitar dignamente.

La utilización de sistemas no convencionales en la construcción para la ejecución de proyectos de cooperación se hace necesaria dada la urgencia de la situación que vivimos. La rápida proliferación de asentamientos informales y la mala gestión generalizada que se suele hacer en los mismos, hace necesaria una intervención profesional innovadora.

La sostenibilidad en la construcción no sólo significa construir con materiales de tipo vernáculo y adaptados a las condiciones tradicionales relativas con aspectos climáticos, sociales y económicas del lugar, sino entender los contextos actuales como oportunidades para el desarrollo de los proyectos y no como problemas a los mismos. En el caso aquí descrito, la utilización de plástico reciclado para realizar el levantamiento de los muros de las construcciones en el asentamiento desde procesos de aprendizaje 'aprender-haciendo' está validando este sistema auto-constructivo mientras favorece directamente a la población que habita el lugar. Así mismo, este ejemplo de buena práctica no sólo potencia la creatividad local abriendo un mundo de posibilidades que es la construcción con plástico reciclado, sino también abre líneas de investigación para los profesionales de la construcción que entienden este material ya no como un residuo, sino como un recurso válido con infinitas posibilidades.

Conclusions

While the architecture is made for the people, it stops to be shown as an ending in itself to become a tool working for the human development and the legitimate right to have a dignified habitat.

Given the urgency of the global situation we are living nowadays, using non conventional systems for construction in cooperation for development projects became a need. The quick spread of informal settlements and the mismanagement which is used to be done on them, make necessary a professional and innovate intervention.

The meaning of sustainability in architecture is not just to build with vernacular materials and adapted to the traditional conditions relative with climate, social and economical aspects of the place, but also it is to understand the actual contexts as opportunities for the development of projects and not as problems for it. The case here exposed, using recycled plastic to build the walls of the constructions in the settlement through process of 'learn-doing' validates this auto-construction system while is encouraging its inhabitants.

Furthermore, this good practice example is not just boosting the local creativity which opens up a world of possibilities on the recycled plastic construction, but also it is opening research fields for the architecture professionals who doesn't understand this material as a residue, but as a valid resource full of unlimited possibilities.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Naciones Unidas. https://www.un.org/
- Arquitectura Sin Fronteras. http://www.galicia.asfes.org/wp-content/uploads/2016/08/2011_ASFEG_Memoria-de-actividades.pdf
- KUBUKA. https://www.kubuka.org
- Nairobi City County, (2014). The project on integrated urban development master plan.Nippon Koei Co., Ltd.
- Njeri, M. (2014). Women and the Informal Economy in Urban Africa: From the Margins to the Centre. Zed Books.
- Muniafu, M., & Otiato, E. (2010). Solid Waste Management in Nairobi, Kenya. A case for emerging economies. Journal of Language, Technology & Entrepreneurship in Africa, 2(1), 2-15
- UN-Habitat. (2004). The Challenge of Slums: Global Report on Human Settlements 2003. London: Earthscan 2003. 310 pp., ISBN: 1844070379. Management of Environmental Quality: An International Journal, 15(3), 337338. https://doi.org/10.1108/meq.2004.15.3.337.3
- White L. W. T., L. Silberman, and P. R. Anderson. (1948). Nairobi: Master Plan for a Colonial Capital. A Report Prepared for the Municipality of Nairobi. HMSO, London

REGENERACIÓN CONSTRUCTIVA Y SOCIAL CON MATERIALES LOCALES EN ETIOPÍA

CONSTRUCTIVE AND SOCIAL REGENERATION WITH LOCAL MATERIALS IN ETHIOPIA

Quiteria Angulo Ibáñez
Investigador en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas; UniversitatPolitècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Asociado, Arquitecto. Doctora en Arquitectura por la UPV. E-mail:quianib@csa.upv.es
Researcher in the Department of Architectural Constructions; UniversitatPolitècnica de València, Assistant Professor. Architect. PhD in Architecture by the UPV. E-mail: quianib@csa.upv.es

Marta Cotillas Mena
Arquitecto / Architect

Abstract
Rural areas in the center of Africa, concretly in the nort of Ethiopia, in the Tigray region pick up many rural villages and refugees camp with similar hability conditions in the buildings, with a difference, in refugees camp sometimes present public equipment with better conditions than buldings in rural Ethiope villages due to the benefits made by humanitaries aids. The study propose a restructuring in future constructions in these rural areas of Ethiopia by a research of materials and constructive solutions adapt to self-construction of locals, as well as driving to create job for local population, that they can be independent of humanitarian aids. For this, it is propose a constructive section type wich can be used for any type of building of new construction or a reform of currently buildings, getting better hability, architectural quality and general conditions in the building.

Keywords
Local self-construction, mud, sostenibility, envioromental adaptation, constructive solution.

Introducción

La habitabilidad en las zonas centrales de África es un tema poco estudiado por expertos técnicos, el cual es necesario tratar debido a la numerosa pobreza que sufren sus habitantes, sobre todo las zonas rurales. Para ello es necesario la identificación del tipo de construcciones, la cultura de construcción y las condiciones climáticas y medioambientales de la zona a estudiar.

Se enfoca la zona de investigación en el norte de Etiopía, en la región de Tigray, en la provincia de Shire, cerca de la frontera con Eritrea se sitúan numerosos pueblos rurales y campos de refugiados que acogen refugiados eritreos, con características similares, en las construcciones y costumbres de los habitantes. Se tiene en cuenta, tanto pueblos rurales etíopes como campos de refugiados, ya que normalmente en estos últimos la influencia de las ayudas humanitarias, cambian los métodos de construcción en los edificios. Aparecen los mismos problemas de habitabilidad y construcción en viviendas y equipamientos públicos.

Se pretende dar a conocer la arquitectura de la zona, la cultura de construcción. Entendiendo que las construcciones no son eficientes ni en materiales, costes y sistemas constructivos. Con el objetivo de mostrar a los propios habitantes, sistemas eficientes de construcción, sobre todo en equipamientos públicos, con el objetivo de que sean capaces los habitantes y refugiados de independizarse de las ayudas humanitarias para la construcción de equipamientos públicos necesarios.

Se conforma la ideación del tipo de viviendas y equipamientos existentes en estas zonas. Se aprecia una diferencia clara entre la construcción enfocada a los equipamientos y la construcción de viviendas. Los equipamientos son proporcionados por las ONGs y las ayudas humanitarias, la construcción básica de las mismas se forma con muros de bloques de hormigón prefabricado y cemento, culminando las cubiertas con cerchas de madera y chapa colaborante. La construcción de vivienda global se basa en una autoconstrucción realizada por el usuario con materiales locales, se observa una distribución de parcela con dimensiones rurales, en las cuales conviven zonas de viviendas, cultivos de subsistencia y espacios para el ganado. Las viviendas suelen estar fabricadas con adobe o cemento, variando en la cubierta la calidad de las construcciones, ya que en muchas ocasiones utilizan restos de la arquitectura de tiendas de campaña (refugiados) o plásticos desechados (habitantes locales) para la formación de estas cubiertas; se encuentran por lo tanto cubiertas ejecutadas con plásticos, chapa colaborante o fibras vegetales, acompañadas siempre con troncos de madera. Otra tipología de vivienda utilizada es la vivienda típica etíope, esta vivienda presenta mejores condiciones de habitabilidad que el resto, pero es más costosa tanto la construcción como el mantenimiento, consiste en una vivienda con tipología circular, construida con muros de adobe y una cubierta con forma cónica ejecutada con fibras vegetales y estructura de madera.

Se estudia la carta solar de Gondar (zona más cercana a Shire, en las ubicaciones ofrecidas por el programa “climate consultant” utilizado). Con el objetivo de entender la trayectoria solar y por lo tanto tomar decisiones en las medidas adoptadas de protección solar y eficiencia energética. Se determina como peor ubicación para la apertura de huecos el oeste. Debiendo proteger los huecos durante la mañana en dirección este y durante la tarde dirección oeste. Además, se utiliza un diagrama psicométrico que determinará las actuaciones sugeridas para alcanzar una alta eficiencia energética.

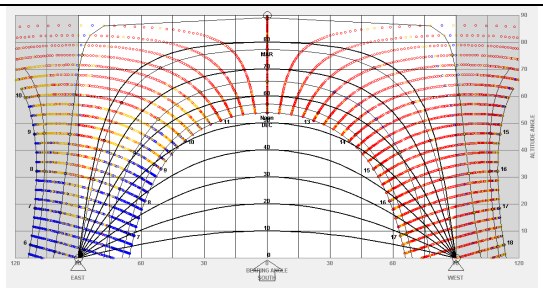


Figura 1. Carta solar. Climate consultant.
Figure 1. Solar letter. Climate consultant

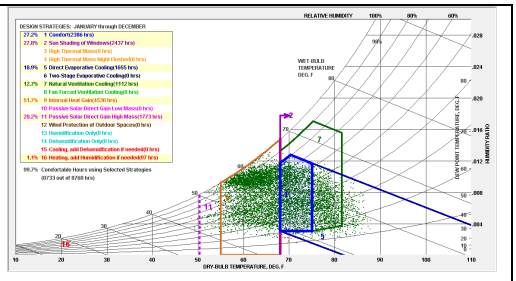
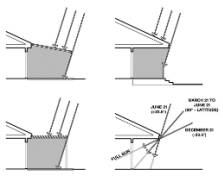
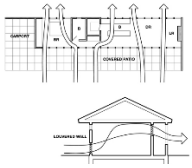
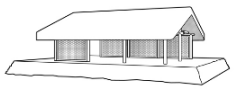


Figura 2. Diagrama psicométrico. Climate consultant.
Figure 2. Phsicometric diagram. Climate consultant.

Soluciones y recursos según la ubicación propuesta:			
			
Figura 3. Voladizo. Climate Consultant. Figure 3. Overhands.. Climate consultant.	Figura 4. Plantas abiertas. Climate Consultant. Figure 4. Open plans. Climate consultant.	Figura 3. Sombras al aire libre. Climate Consultant. Figure 3. Shaded outdoors. Climate consultant.	Figura 6. Casas pasivas tradicionales. Climate Consultant. Figure 6. Traditional passives homes. Climate consultant.
Voladizos de las ventanas pueden reducir o eliminar el aire acondicionado. Window overhangs (designed for this latitude) can reduce or eliminate air conditioning.	Plantas abiertas para promover la ventilación cruzada, o usar puertas con persianas o conductos de ventilación. Use open plan interiors to promote natural cross ventilation, or use louvered doors, or instead use jump ducts if privacy is required.	Zonas de protección al aire libre con sombras orientadas a las brisas predominantes pueden extender las áreas de de vivienda en climas cálidos o húmedos. Shaded outdoor buffer zones oriented to the prevailing breezes can extend living and in warm or humid weather.	Las casas tradicionales pasivas en climas templados utilizan una construcción ligera, paredes móviles y espacios al aire libre con sombra. Traditional passive homes in temperate climates used light wight construction and operable walls and shaded outdoor space.

La zona del norte de Etiopía, concretamente en la zona de Tigray (provincia de Shire), se considera un clima semiárido (clima de sabana tropical), clima muy cálido con latitudes tropicales y subtropicales. La temperatura media anual es de 20.8 ºC, pudiendo alcanzar un máximo de 32 ºC y un mínimo de 9 ºC (temperaturas nocturnas). Por lo tanto, es importante la consideración de temperaturas altas y estables durante todo el año. Por otro lado, las épocas de sequía son periódicas, pero aparecen dos meses de verano lluviosos (julio y agosto), en los cuales se registran cantidades promedio de precipitación anual de 900 mm. Durante estos meses se aprovechan los tanques situados estratégicamente debajo de las laderas para la recolección de agua. La velocidad media del viento es de 13 km/h y dirección predominante varía según el momento del día: mañanas SO, tardes S, noches E.

Introduction

Africa central zones habitabilitie is an unusual study topic by tecnich experts, which is necessary to be noticed due to the much poverty suffered by the population there, especially in the rural areas. Because of this, is necessary to do an identification of the construction types, a research about their construction culture and a study of the climatic and medioambiental conditions in that “zone”.

The research area is in the North of Ethiopia, in Tigray region, province of Shire near to Eritrea’s border where there are many rural villages and refugees camps, which welcome Eritrean refugees, with similar constructions and population’s costums. It is cosiderated, both rural Ethiope villages and refugees camp, because normally the influence of humanitary aids in refugees’ camps modifies the construction methods in the buildings. We can find the same habitability and construction problems in household and public equipment.

The aim is giving to know vernacular architecture, their construction culture. Understanding that these constructions are not efficient nor in materials, nor in costs neither in the used constructive methods. The goal is to show to the local population efficient construction methods, chiefly in public equipment, so Ethiope population and Eritrean refugees will be able to be independent of humanitary aids in the construction of necessary public equipment.

It is shaped dwelling and equipment ideation from this areas. A big difference is percieved between construction focused on public equipment or dwellings construction. Public equipments are provided by NGOs and humanity aids, the basic construction of this buildings are formed by precast concrete blocks and cement, and concluded covered with wooden trusses and corrugated lock. Global dwelling

construction is based on self-construction by the user with local materials, a distribution in rural plots is observed, dwellings, subsistance crops and cattle coexist in them. Usually houses are fabricated with adobe or clay/cement, oscillating the construction quality in the covert, because in many ocasions they use architecture tents remains (refugees) or wasted/scrapped plastic (by local population) to make the roof; that's why plastic, corrugated lock or organic fibers coverts can be found, always in the company of wood trunks. Other dwelling typology used is the typical ethiope house, this construction shows better habitability conditions than the rest, but is a more expensive construction and it requires of a higher maintenance, it consists of a house with a circular typology, built with adobe walls with a conical covert made with vegetal fibers and a wooden structure.

Gondar's solar letter is studied (the nearest to Shire zone according to ubications offered by the "climate consultant" program used). With the objetive of understanding the solar path and therefore taking decisions in the adopted measurements of solar protection and energy efficiency. The west is determined as the worst location for holes opening. Having to protect the gaps during the morning in the east direction and, during afternoon, in the west direction. In addition, a psychometric diagram is used to determine the suggested actions to achieve a high energy efficiency.

The north area of Ethiopia, concretely Tigray area (Shire province), it is considerate a semiarid climate (tropical savannah climate), very warm climate with tropical latitude and subtropical. Average annual temperature is 20.8 ºC, it can reach a maximum of 32 ºC and a minimum of 9ºC (night temperature). So it is important to consider the high and stable temperatures during all year. On the other hand, the time of drought are periodic, but appears two month of rainy summer (July and August), in which are register average amount precipitation of the year are 900 mm. During this months tanks are taken advantage strategically located under the slopes to collect rainwater. Average wind is 13 km / h, the predominant direction of the wind change according to the moment day: morning SW, afternoon S, night E.

Metodología

La metodología empleada se basa en una línea de investigación de materiales constructivos locales, que se adapten a soluciones constructivas adecuadas a la zona, enfocadas a la autoconstrucción por la población local, de manera que se busca no solo una forma de construcción ecológica adecuada al entorno, adaptado a la cultura de la zona y además que sea una forma de crear trabajo a la población local. Llegando, por último, como conclusión a una sección constructiva tipo que será útil para la construcción de equipamientos, por ejemplo, de uso público.

Methodology

Methodology used is based in an investigation line of local construction materials that are adapted to constructive solutions focused to self-construction by local population, so is searched an ecologic construction enviromentaly friendly, adapted to the place culture, also as a way to produce local work for the population. It concludes with a type construction section that will be usefull for the construction of equipments, for example of public use.

Investigación

Para la investigación de los métodos constructivos y materiales empleados en la construcción se consideran unas premisas iniciales, comparando para las diferentes partes del cerramiento de un edificio los métodos estandarizados de construcción, teniendo en cuenta en cada uno de ellos si son materiales locales, si es necesario su importación, la distancia de dicha importación en su caso, el coste de la solución constructiva, el conocimiento de la técnica por la población local y por último el grado de sostenibilidad ecológica que soporta el material, atendiendo a conceptos de adecuación al entorno, durabilidad y reciclaje del material.

Por lo tanto, se puede separar el estudio en tres conceptos: Localización del material, conocimiento de las técnicas por la población local y sostenibilidad ecológica.

- El estudio de la localización del material se localiza por una observación de los bienes locales y el posible reciclaje de materiales de edificios en desuso y malas condiciones.
- El conocimiento de la técnica: se estudia a partir de encuestas realizadas a la población y del estudio previo realizado a los edificios y en particular a las viviendas del campo, viviendas autoconstruidas por el usuario utilizando métodos tradicionales etíopes.
- La sostenibilidad ecológica del material se estudia partiendo de los datos obtenidos de climatología, temperatura y disponibilidad de bienes.

	Cimentación Foundation		**Cerramiento** Clossing wall			**Estructura de cubierta** Cover structure		**Estructura de cuerda** Ropes structure	
	Hormigón armado Reinforced concrete	Mampostería de piedra Stone mansonry	Bloque de hormigón Concrete blocks	Adobe Adobe	Muro tapial Mud wall	Metálica Metalic	Madera Wood	Metálica Metalic	Madera Wood
Material local Local material	×	✓	×	✓	✓	×	✓	×	✓
Distancia de transporte del material.Distance transport of aterial. ■ Lejos / Far ■ Medio / Middle ■ Cerca / Near									
Coste Preice	€€€	€	€€€	€	€	€€€	€	€€€	€
Conocimientos de la técnica Techniques knodwledge	×	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓
Sostenibilidad ecológica. Ecological sustainability.	×	✓	×	✓	✓	×	×	×	×
Adecuación con el entorno. Envairomental adaptation	×	✓	×	✓	✓	×	✓	×	✓
Durabilidad del material Durability material	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓
Reciclaje Recycling	×	✓	✓	×	×	×	✓	×	✓

Tabla 2. Tabla comparativa de materiales y soluciones constructivas
Table 2. Comparative table of materials and constructive solutions

Investigation

To the investigation of constructive methods and constructive materials used in them are considerate an initial knowledge, comparing the different parts of the clossing of a building to the standard construction methods, having in consideration each of them if it is local material, if importation is necessary, (then the importation distance in each case), constructive solution cost, knowledge of the technic for the locals, and finally the degree of ecological sustainability that material supports, looking at concepts of enviromental adaptation, durability and material reciclying.

So, the studio can be teared in three ideas: material location, techniques knowledge by local population and ecological sustainability.

- The study of material location is done by observing the local goods and the possible recycling of materials from abandoned or in bad condition buildings.
- Knowledge of techniques: it is studied by surveys carried out on population and by the previous analysis of the buildings, specially country dwellings, self-built by users using traditional Ethiope methods.

- The ecological sustainability of the material is studied from the data of climatology, temperature and goods available

Resultados

La investigación se enfoca en una conclusión entendida en una sección constructiva tipo. Las conclusiones obtenidas de la comparación de materiales y métodos constructivos, es la utilización de cimentación de mampostería de piedra con cemento, elevando el muro de mampostería a 50cm por encima del suelo, para apoyar posteriormente el muro de tapial, protegiéndolo de humedades. El muro de tapial ofrece una resistencia mucho mayor que las construcciones de adobe tradicional además estará construido por tramos con diferentes tipos de arena y arcilla, dando sensación de ondas de colores, ofreciendo carácter a las construcciones y considerándose uno de los elementos claves de la investigación.

Por último, la cubierta inclinada y elevada permitiendo la ventilación total y continua, construida con cerchas de madera y cubierta de chapa corrugada, un falso techo que cubre está cubierta con cuerdas, permitiendo y proyectando un espacio semicerrado apto para las altas temperaturas constantes durante todo el año en la zona. El elemento de la cuerda, se considera el segundo elemento clave a la construcción, debido a que permite una segunda capa de cubierta que produce una mejora técnica de la misma, proporcionando ventilación cruzada, protección y control del calentamiento del interior y de la luz, mediante un elemento que se fabricará con técnicas tradicionales por los habitantes locales de la zona.

Results

The research is focused on a conclusion understood as a constructive section type. The conclusions we got from the comparison of materials and constructive methods is the use of a foundation made of stone masonry with cement, raising the mud wall 50 cm over the ground, then supporting mud wall and protecting it from humidities. Mud wall offers a much higher resistance than traditional adobe ones besides it will be constructed by stretchs with different kinds of sand and clay that make the sensation of color waves, this gives character to the buildings and it is considerate one of the keys of the investigation.

Finally, cover must be sloped and raised allowing complete and continued ventilation, build with wooden trusses and corrugated sheet, a false ceiling which cover the first roof layer with ropes, allowing and projecting a partially close space suitable to the high regular temperatures during all year in the area. The rope element is consider a second key for the construction, because it allows a second layer cover which produces a technique improvement, giving cross ventilation, protection and control of the interior warming up and of the light inside the building, through an element that will be manufactured using traditional techniques and built by local population.

Cimentación

La cimentación que se lleva a cabo en el edificio es una cimentación de mampostería de piedra, es una cimentación superficial, suficiente para la sustentación de un muro de tapial pensado para un edificio de una sola planta. Se lleva a cabo por medio de una cimentación a modo de zapata corrida centralizada a lo largo de todo el muro. Es posible la cimentación centralizada ya que todos los edificios suelen ser aislados en estas zonas de Etiopía. La cimentación consiste en la utilización de piedras del campo, con tamaños que varían de los 10-25 cm de diámetro. A la hora de construir un muro de tapial, es necesario la construcción de un muro de sobrecimiento, con el objetivo de evitar humedades, se proyecta con el mismo ancho que tendrá el muro, en este caso de 50 cm. Se construye mediante el apoyo de un encofrado de madera para conseguir un muro parejo. Se utilizan piedras de menos de 10 cm de diámetro sustentado por torta de barro. También es posible llevar a cabo la sobre-cimentación con un doble muro de piedra rellenado de torta de barro, de esta manera se ahorra piedra en la construcción. (ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SISIMICA-AIS.)

LEYENDA / LEGEND :

1. Muro de tapial / Mud wall
2. Nivelación de sobrecimiento con mezcla de hormigón /
3. Sobrecimiento de mampostería de piedra<10 cm de diámetro / Overrun of mansory stone <10cm diameter
4. Pavimento de tierra tratada y comprimida / Treated and compressed clay pavement
5. Nivelación de losa con mezcla de hormigón / Leveling slab with mixture of cocrete
6. Losa de mampostería de piedra <10 cm de diámetro / Slab of mansory stone <10cm diameter
7. Grava de relleno / Filling gravel
8. Tierra de relleno / Filling clay
9. Recogida de agua de lluvia / Rainwater collection
10. Cimentación de mampostería de piedra >10 cm de diámetro / Stone masonry foundation stone> 10 cm diameter
11. Relleno de mezcla de terrazo de nivelación / Filling mixture terrazzo
12. Mortero de nivelación / Leveling mortar

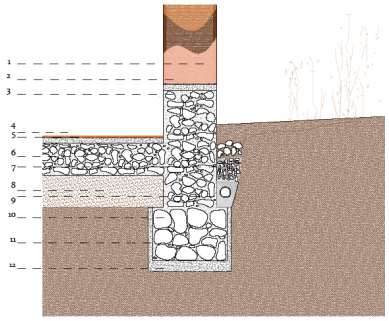


Figura 7: Detalle constructivo de construcción. Figure 7: Foundation constructive detail.

Cerramiento

La construcción de los muros de tapial consiste en comprimir tierra en encofrados de madera, mediante capas de 15 cm de altura aproximadamente. Se compacta a través de herramientas manuales hasta alcanzar la densidad necesaria para crear estructuras resistentes y duraderas. Los muros se fabrican con una combinación de tierra, arena, arcilla y 5 % de cemento. Es posible sustituir el cemento por cal para obtener una construcción 100% ecológica. Para el proceso de construcción en primer lugar se seleccionan los materiales y se colocan en un mezclador formando una masa húmeda. Una vez que la mezcla esté lista se vierten en el encofrado por capas, intercalando diferentes colores y comprimiendo cada una de las capas. De esta manera se obtiene la sensación de ondas en la textura del muro.

Joelle Eyson es una de las pioneras de esta técnica de la mezcla de colores para obtener estos resultados en los muros de tapial. Los diferentes colores se consiguen con tierras de las propias zonas rurales. Sería posible modificar los colores naturales de la tierra con pigmentos de óxido de hierro, obteniendo colores más brillantes, pero no es necesario en el caso de las posibles proyecciones en el norte de Etiopía, ya que las diferentes tierras proporcionan una gran variedad de colores naturales al muro. (EYESON, Joelle).



Figura 8: Colores de tierra africana. (EYESON, Joelle)
Figure 8: African colours clay (EYESON, Joelle)

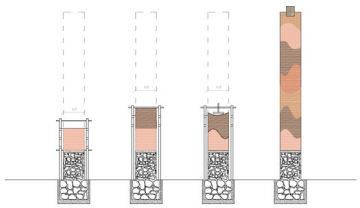
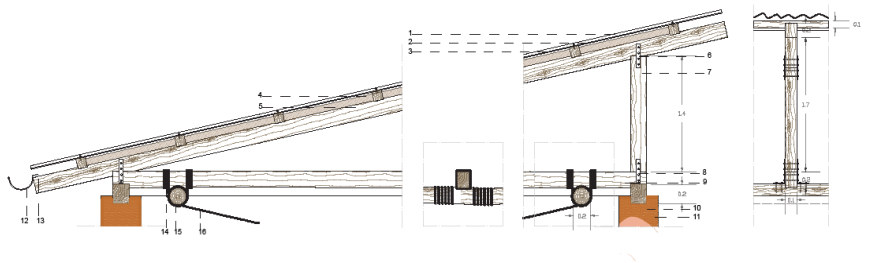


Figura 9: Proceso de construcción: muro de tapial
Figure 9: Construction process: Mud wall

Se realiza una maqueta en arcilla, ya que es una manera muy aproximada de acercarse a la realidad de los muros de tapial en cuanto a textura y construcción, en la maqueta se muestra la relación de materiales (tapial-madera-cuerda-chapa metálica), existente en los módulos que conforman las naves, además se construyen los muros mezclando diferentes tipos de arcilla por un método de presión, similar a la construcción real mediante encofrado y apisonado manual. Se consigue así una forma semejante a la textura de muros de tapial con diferentes tierras de las zonas rurales de Etiopía. La maqueta también se utiliza como estudio de las formas logradas gracias a los diferentes colores de tierra, variando según la presión ejercida en los muros y las capas superpuestas de diferentes colores y la aproximación de cambios de color y forma que puede sufrir el muro al secarse.

Cubierta

La construcción de la cubierta se lleva a cabo por cerchas trianguladas de madera aserrada, simplificando los cortes de unión con el objetivo de facilitar el trabajo a los habitantes locales, introduciendo el trabajo de carpintería de manera posible al manejo de la población. La estructura se apoya en la viga de coronación del muro. Sobre esta viga se colocan las cerchas trianguladas de madera. Las uniones en los nudos se realizan mediante pasadores y tornillos (diámetro 20mm). Alargando los cordones superiores un metro por los extremos de manera que sustente el voladizo de la cubierta. Culmina la estructura con correas de madera con sección 12 x 12 cm. Una vez establecida la estructura se cuelga mediante un nudo de amarre cuadrado rollizos de 20cm de diámetro, a los cuales se le coloca la cuerda sin tensión formando curvatura y dejando pasar la luz entre ella. Por último, entre las correas de la cubierta se apoyan paneles de fibra de Ensete fabricados de manera manual y sobre los paneles la chapa metálica ondulada con una separación de 5mm entre los paneles y la chapa dejando una cámara de aire. Estos paneles y la cámara de aire permitirán evitar el sobrecalentamiento de la chapa metálica introduciendo calor al interior, por lo tanto, protege de la radiación solar y funciona el módulo de las naves correctamente descendiendo la temperatura en el interior.



LEYENDA / LEGEND:

1. Chapa ondulada metálica / Metal corrugate sheet	9. Viga de madera (Cordón inferior) / Wooden beam (bottom chord)
2. Cámara de aire / Air chamber	10. Muro de tapial / Mud wall
3. Rastrel de madera / Wooden batten	11. Acabado prensado de muro de tapial / Finich pressure mud wall
4. Panel de fibra de ensete / Ensete fiber panel	12. Canalón / Gutter
5. Viga inclinada de madera (cordón superior) / Inclined wooden beam (top cord)	13. Chapa en L, unión de canalón / L-shape plate, gutter
6. Nudo (tornillos y pasadores) / Knot (screws and pins)	14. Amarre cuadrado / Square moorage
7. Pilar de madera (Montante) / Wooden support (stile)	15 Rollizo de madera (20cm de diámetro) / Wooden pole (20 cm diameter)
8. Nudo (tornillos y pasadores) / Knot (screw and pins)	16. Cuerda (20mm de diámetro) / Rope (20mm diameter)

Figura 11: Detalle constructivo de cubierta
Figure 11: Dweling constructive detail

Foundation

Foundation that will be used in the building is a stone masonry foundation, this is a superficial foundation, enough for the uplift of a mud wall thought for a one floor building. It is done using a centralized strip footing along the whole wall. This is possible because all the buildings are usually isolated in this regions of Ethiopia. Foundation construction consist of the use of field stones, with sizes that oscillates between 10-25 centimeters of diameter. When mud wall is build, it is necessary the construction of an overgrowth wall, with the goal to avoid humidiy, it projected with the same broad of mud wall, 50 cm in this case. It is built by the support of a wooden formwork to get an even wall. Stones of diameter less than 10 cm are used sustained by mud tiles. Also it is possible to do the upper part of the foundation using a double wall of stone filled with mud tiles, this way we save stone from the construction. (COLOMBIAN ASSOCIATION OF SEISMIC ENGINEERING – AIS.).

Clossing wall

The construction of mud walls is based in compressing soil in wooden formwork, through layers of 15 cm high approximately. It is compacted using manual tools until achieving the necessary density to create resistant and durable structures. Walls are built with a combination of soil, sand, clay and a

5 % of cement. It is possible to replace the cement by lime to obtain a 100% ecological construction. For the construction process in the first place materials are selected and placed in a mixer merging to form a humid mass. Once the mixture is ready, they are poured in the formwork by layers, interspersing different colors and compression each one of the layers. This way we obtain a wave texture sensation on the wall.

Joelle Eyson is one of the pioneers of this technique of mixing colour sands to get this mud wall result. The different colours are achieved with local sands from rural regions. It would be possible to modify the natural colours of the soil with iron oxide pigments, obtaining brighter colours, but this is not necessary in the case of the possible projection in the North of Ethiopia, because the variety of soils provide large difference of natural colours to the wall (EYESON, Joelle).

A model in clay is made, this is a way of approaching the reality of the mud walls texture and construction, in the model we show the relation of matters (mud-wood-rope-metal sheet), that exist in the modules that put together the buildings, also the walls are built mixing different kinds of clay by a pressure method, similar to the real construction through formwork and manual ramming. Like this we get a form similar to the mud walls texture with different soils from rural regions of Ethiopia. The model is also used as a study of the forms accomplished due to the different soil colours, differing depending on the pressure applied in the walls and the overlapped layers of different colours and the approach of colour and shape change that the wall can suffer by drying.

Cover

The construction of the cover is done using sawn wood triangulated trusses, simplifying the union cuts in order to facilitate the task to the locals, introducing the carpentry work in a reachable way to the locals. The structure is supported by the wall coronation beam. Over that beam the triangulated wooden trusses. The unions in the knots are done through pins and screws (20 cm diameter). Extending the superior strands 1 meter by their extremes the way they sustain the cantilever of the cover. It ends the cover with wooden strands with a section of 12x12 cm. Once the structure is stablished rolls (20cm of diameter) are hanged through a knot of square tie, the rope is hanged without tension forming curvature and letting light go through. Finally, between the cover strands rest fiber Ensete panels (manufactured manually) and over the corrugated metal sheet with a separation of 5 mm between the panels and the sheet, leaving an air chamber. These panels and the air chamber will avoid the over heating of the metallic sheet introducing heat inside, then, it protects from solar radiation and module of the buildings works correctly descending inside's temperature.

Conclusiones

- Auto-construcción local y ecológica con materiales locales.
- Regeneración de trabajo local.
- Baja temperatura en el interior: se reduce la temperatura gracias al módulo de naves semiabierto, con doble capa de cubierta, una primera capa de cuerdas y una segunda capa ventilada de chapa metálica aislada con paneles fabricados con fibras de Ensete, que evitan el sobrecalentamiento de la chapa, mediante la ventilación cruzada y la cubierta ventilada se reduce la temperatura en el interior de las naves.

Conclusions

- Self-construction by locals and use of ecological local materials.
- Regeneration of local job.
- Low interior temperature: temperature is reduce through module nave midle open, with doble layer cover, first cover cord and second air layer with a metalic lock isolated by Ensete fibers panel, wich avoid overheating lock, through crossed ventilation and ventilation coverare reduced the interior naves temperatura.

BIBLIOGRAFÍA / BIBLIOGRAPHY

ACNUR (2006). Operational Protection in Camps and Settlements. Génova.

ALBERICH LANZOS, PÉREZ G.BURGOS (2019). Obra pedagógica. Centro de emprendimiento (escuela-taller) y viviendas para profesores en el campo de refugiados de Shimelba Tigray, Etiopía.

ALIANZA SHIRE. (2014). Cross-Sector partnership for Humanitarian Action: Energy Access to Refugees. Report 1: Characterization of Shire Refugee Camps and Energy Needs Assessment.

ALIANZA SHIRE. (2018). First Mission Report 1: Shire II proyect.Field Mission. Identification, field assesment and Project planning.

ANÓNIMO (2015).Cimentaciones.Proyectos de edificación 2D2 ESJ. Fuente: http://topolineante.blogspot.com/2015/01/cimentaciones.html

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA-AIS. Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. Fuente: https://es.slideshare.net/jbasualdo/mradobetapia

CLIMATE DATA- ORG https://es.climate-data.org/africa/etiopia/tigray-1505/

ECURED .Banana Salvaje Fuente: https://www.ecured.cu/Banana_salvaje

EYESON, Joelle. Colores de la tierra. Los increíbles diseños de muros de barro en Ghana. Fuente: https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/914727/colores-de-la-tierra-los-increibles-disenos-de-los-muros-de-tapia-en-ghana

FAUS, Albert (2014)Escuela infantil LAAFI.

Fuente:https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/760352/escuela-de-educacion-infantil-laafi-albert-faus

GARCIA DOVAL,Irene (2011) Instrucciones para elaborar adobes y repellos.Habitatydesarrollo. Fuente: https://habitatydesarrollo.wordpress.com/2012/02/23/instrucciones-para-elaborar-adobes-y-repellos/

HIERRO, Lola (2016). “Un refugio para cada uno”. Fuente: https://elpais.com

MUÑIZ, Patricia (2016). Refugiados y desplazados internos (soluciones de alojamiento). Universidad da Coruña

NIAFOURANG, Proyect (2011)Centro para jovenes en Niafourang. Fuente:https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-145936/centro-para-jovenes-en-niafourang-project-niafouranghttps://www. plataformaarquitectura.cl/cl/02-145936/centro-para-jovenes-en-niafourang-project-niafourang

PLATAFORMA UPM (2019). Nautia toolkit. Manual y procedimiento de la “metodología Nautia”.

SHEEHAN, Francis; A. RANARD, Donald. December 2010. Eritrean Refugees from the Shimelba Refugee Camp. COR Center Refugee Background No.5 SHEEHAN, Francis; A. RANARD, Donald. December 2010. The Kunama. COR Center Refugee Background No.3

LA ENERGÍA MINIEOLICA Y NANOEÓLICA EN LA INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA.

MINI WIND POWER ENERGY AND NANO WIND POWER ENERGY IN ARCHITECTURAL INTEGRATION.

Jaime Langa-Sanchís
Ph. D. Student por la Universitat Politècnica de València. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: jailansa @ csa.upv.es

Javier Cárcel-Carrasco
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es

Abstract
Wind power is currently applied over spaces where uniform, constant wind is expected with high speeds and laminar flows. There are many variables in the environment that affect wind quality and the possibility of energy extraction.

The environment of cities moves away from being uniform to the fluid air, a multitude of turbulence and variations are created in the first layers of contact with buildings. An attempt has been made to install wind energy based on the same principles as for large catchment areas or wind farms, a constant, high-quality uniform wind is sought in which the wind turbine or mini wind turbine in the case of cities, is perfectly prepared and can extract as much energy as possible. This principle cannot be the cornerstone for the installation of the wind and its integration into an uplifted environment, on the roofs of the buildings we obtain significant variations in intensity and direction which results in turbulence that is unpredictable and unquestionable overall. In this area of turbulence is where we must investigate how to extract energy so that it can be used in our buildings, while having adequate architectural integration in such equipment. This work shows the principles of installations using mini wind generators and the principles and application of nano wind capture systems in the architectural context.

Key words: Wind power; Mini wind energy, nano wind energy, architectural integration.

Resumen
En la actualidad la energía eólica se aplica sobre espacios donde se prevé un viento uniforme, constante y con altas velocidades y flujos laminares. Existen multitud de variables en el entorno que afectan a la calidad del viento y la posibilidad de extracción de energía.

El entorno de las ciudades se aleja de ser uniforme respecto del fluido aire, se crean multitud de turbulencias y variaciones en las primeras capas de contacto con los edificios. Se ha intentado instalar energía eólica basada en los mismos principios qué para las grandes superficies de captación o parques eólicos, se busca un viento uniforme constante, de gran calidad, en el que el aerogenerador o mini aerogenerador en el caso de las ciudades, este perfectamente preparado y pueda extraer la máxima energía posible. Este principio no puede ser la piedra angular para la instalación de la eólica y su integración en un entorno edificado, sobre las azoteas de los edificios obtenemos unas variaciones significativas de intensidad y dirección lo que da lugar a turbulencias que son imprevisibles e incuantificables generalmente. En esa zona de turbulencias es donde debemos investigar cómo extraer la energía para que pueda ser utilizada en nuestros edificios, al tiempo, que dichos equipos tengan una integración arquitectónica adecuada. En este trabajo, se muestra los principios de las instalaciones mediante generadores minieólicos y los principios y aplicación de los sistemas de captación nanoeólica en el contexto arquitectónico.

Palabras clave: Energía eólica; Energía minieólica, Energía nanoeólica, integración arquitectónica.

Introducción

Las instalaciones eólicas de pequeña potencia presentan unas características propias, que las dotan de una serie de ventajas adicionales respecto a la gran eólica, como una potencial mayor eficiencia global por las pérdidas evitadas en las redes de transporte y distribución, y que permiten la integración de generación renovable sin necesidad de crear nuevas infraestructuras eléctricas. Además, pueden fomentar la implicación ciudadana en la mejora de la eficiencia energética, el autoabastecimiento energético y la lucha contra el cambio climático. A continuación, se citan las más significativas (Abhinav et al, 2021):

Generación de energía próxima a los puntos de consumo.

Versatilidad de aplicaciones y ubicaciones, ligado al autoconsumo, con posibilidad de integración en sistemas híbridos.

Accesibilidad tecnológica al usuario final, facilidad de transporte de equipamientos y montaje.

Funcionamiento con vientos moderados, sin requerir complejos estudios de viabilidad.

Aprovechamiento de pequeños emplazamientos o de terrenos con orografías complejas.

Suministro de electricidad en lugares aislados y alejados de la red eléctrica.

Optimización del aprovechamiento de las infraestructuras eléctricas de distribución existentes.

Bajo coste de operación y mantenimiento y elevada fiabilidad.

Reducido impacto ambiental, por menor tamaño e impacto visual, y por su integración en entornos con actividad humana (Martinez, 2010).

Técnicamente, estas aeroturbinas tienen una estructura similar a las grandes, solo que su diseño es mucho más simple (sistemas de orientación pasivos, generadores eléctricos robustos de bajo mantenimiento, ausencia de multiplicadores...). Su sencillez de funcionamiento hace que, en general, estas pequeñas instalaciones puedan ser atendidas por los propios usuarios (Inieco, 2011).

En la actualidad, los pequeños aerogeneradores son sobre todo utilizados para el autoconsumo de edificaciones aisladas. Además, suelen ir acompañados de paneles solares fotovoltaicos formando parte de pequeños sistemas híbridos que, por medio de la combinación de la energía del sol y el viento, permiten garantizar el suministro eléctrico. Estos sistemas, bastante fiables, incluyen unas baterías donde se almacena la energía sobrante para cuando no haya viento ni sol.

Otra posibilidad consiste en utilizar estas máquinas para producir energía e introdudirla a la red eléctrica. Esta opción todavía está muy poco desarrollada en España, si bien esto podría cambiar en esta década con unas condiciones más favorables (Zhang, 2021).

No sería correcto aceptar como válidas las actuales instalaciones de mini eólica qué pretende funcionar como un sistema lineal y estable de viento, con mástiles sobre la azotea de 6 u 8 metros o incluso más, para buscar aquellas zonas con menores turbulencias. Esos equipos solo pueden funcionar de forma eficiente cuando las condiciones son estables y controladas. Otra posibilidad es mediante la utilización de equipos de nanoeólica en la cornisa técnica de los edificios que funcionen y sean capaces de extraer energía en entornos tremendamente variables dónde no tenemos constancia ni posibilidad de obtener vientos homogéneos en cuanto a intensidad y dirección, sino más bien todo lo contrario. Situaciones de movimientos alternos de masas de aire, variables, descompensadas y aleatorias; un entorno difícil de predecir y de controlar. En ese entorno es donde se pretende instalar equipos que respondan de forma eficiente al entorno y desde donde se pueda extraer la suficiente cantidad de energía para que quede justificado su uso en los inmuebles como una fuente más de captación y por tanto se plasme en una realidad a aplicar.

Introduction

Small-powered wind installations have their own characteristics, which give them a number of additional advantages over large wind, as a potential greater overall efficiency for the losses avoided in transport and distribution networks, and that allow the integration of renewable generation without the need to create new electrical infrastructures. In addition, they can encourage citizen involvement in improving energy efficiency, energy self-suffling and combating climate change. Below are the most significant ones (Abhinav et al, 2021):

Power generation close to consumption points.

Versatility of applications and locations, linked to self-consumption, with the possibility of integration into hybrid systems.

Technological accessibility to the end user, ease of transport of equipment and assembly.

Operation with moderate winds, without requiring complex feasibility studies.

Use of small sites or land with complex orographies.

Supply of electricity in isolated locations and away from the electricity grid.

Optimization of the use of existing electrical distribution infrastructures.

Low cost of operation and maintenance and high reliability.

Reduced environmental impact, by smaller size and visual impact, and by its integration into environments with human activity (Martinez, 2010).

Technically, these aeroturbines have a structure similar to large ones, only that their design is much simpler (passive orientation systems, robust electric generators of low maintenance, absence of multipliers...). Its simplicity of operation makes, in general, these small installations can be serviced by the users themselves (Inieco, 2011).

Today, small wind turbines are mainly used for the self-consumption of isolated buildings. In addition, they are usually accompanied by photovoltaic solar panels forming part of small hybrid systems that, through the combination of the energy of the sun and wind, allow to guarantee the electricity supply. These rather reliable systems include batteries where excess energy is stored for when there is no wind or sun.

Another possibility is to use these machines to produce energy and introduce it to the mains. This option is still very underdeveloped in Spain, although this could change in this decade with more favorable conditions (Zhang, 2021).

It would not be right to accept as valid the current installations of mini wind which aims to function as a linear and stable wind system, with masts on the roof of 6 or 8 meters or even more, to look for those areas with the least turbulence. These equipment can only operate efficiently when conditions are stable and controlled. Another possibility is by using nanoelic equipment in buildings, which work and are able to extract energy in tremendously variable environments where we have no record or possibility of obtaining homogeneous winds in terms of intensity and direction, but rather quite the opposite. Situations of alternate movements of air masses, variables, decompensated and random; a difficult environment to predict and control. In this environment it is intended to install equipment that responds efficiently to the environment and from where enough energy can be extracted so that its use in real estate is justified as another source of acquisition and therefore is part of a reality to be applied.

Energía minieólica y su tipología.

La utilización de la energía eólica constituye una fuente de energía limpia, virtualmente inagotable, muy atractiva y ventajosa para las empresas de servicios energéticos así como para la economía de los países. España es una de las grandes potencias en la utilización de este recurso, se trata de una fuente de energía respetuosa con el medio ambiente, aceptada socialmente y, aunque su producción no es continua y depende de las condiciones meteorológicas de la zona, está perfectamente integrada dentro del sistema de producción de energía del país, entrando diariamente dentro de la subasta del mercado eléctrico español y europeo.

Los captadores de micro eólica, darán solución a la implementación y uso de dicha energía en nuestros edificios y ciudades. Uso local de proximidad. Autonomía de la red de distribución general. Consumo de la energía generada en el propio inmueble. Interconexión con otros puntos de producción y consumo, generando y dando valor a las Smart City del futuro.

La generación de electricidad a pequeña escala se produce de la misma manera que los aerogeneradores de potencias más altas y propios de parques eólicos. Al ser el tamaño menor, la potencia a suministrar también se ve reducida, ya que el área que barren las palas no es equiparable en cuanto a tamaño. Las potencias que producen son inferiores a los 100kW y, de acuerdo con las normas internacionales, el área de barrido no debe superar los 200 m2. El funcionamiento de los aerogeneradores viene regido por la energía cinética del viento, cuyas ráfagas provocan una fuerza giratoria sobre las palas. La producción de energía eléctrica viene determinada por una serie de elementos que hacen del aerogenerador un excelente sistema de producción eléctrica para suplir el consumo existente en la vivienda.

Existen dos tipos fundamentales de aerogeneradores, según su eje pueden ser verticales u horizontales.

Los aerogeneradores de eje horizontal son los más frecuentes y los más conocidos. Son los más eficientes y económicos aunque no toleran bien los vientos racheados, débiles o con cambios frecuentes de dirección. Necesitan una veleta para orientarse de cara al viento. En la figura 1 se puede observar un aerogenerador típico de eje horizontal (web1).

Los aerogeneradores de eje vertical tienen la gran ventaja de adaptarse a cualquier dirección del viento. Generan pocas vibraciones y son los más silenciosos. Por contra, ofrecen un peor rendimiento y son más caros. En la figura 2 se puede observar un aerogenerador típico de eje vertical (web2).



Mini horizontal axle wind turbine

Mini wind power energy and its typology.

The use of wind energy is a clean, virtually inexhaustible, very attractive and advantageous source of energy for energy service companies as well as for the country economy. Spain is one of the great powers in the use of this resource, it is an environmentally friendly energy source, socially accepted and, although its production is not continuous and depends on the weather conditions of the area, it is perfectly integrated within the country's energy production system, entering daily within the auction of the Spanish and European electricity market.

Wind micro collectors will solve the implementation and use of such energy in our buildings and cities. Local proximity use. Autonomy of the general distribution network. Consumption of the energy generated in the property itself. Interconnection with other points of production and consumption, generating and giving value to the Smart City of the future.

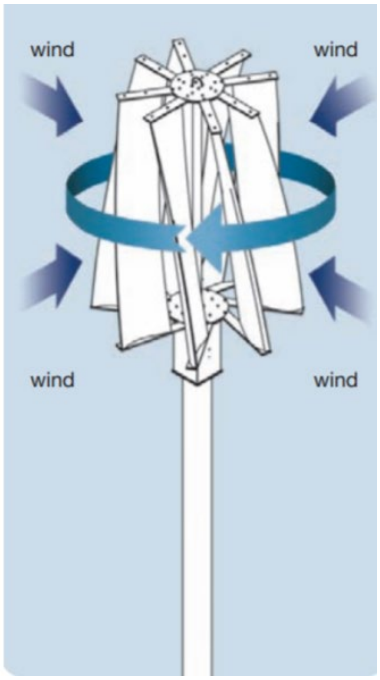
Small-scale electricity generation is produced in the same way as higher power wind turbines typical of wind farms. Being the smallest size, the power to be supplied is also reduced, since the area that the blades sweep is not comparable in terms of size. The powers they produce less than 100kW and, according to international standards, the sweeping area must not exceed 200 m2. The operation of the wind turbines is governed by the kinetic energy of the wind, whose gusts cause a rotating force on the blades. The production of electricity is determined by a series of elements that make the wind turbine an excellent electrical production system to supply the existing consumption in the house.

There are two fundamental types of wind turbines, depending on their axis they can be vertical or horizontal.

Horizontal axis wind turbines are the most frequent and the best known. They are the most efficient and economical although they do not tolerate well the winds wedded, weak or with frequent changes of direction. They need a vane to orient themselves facing the wind. Figure 1 shows a typical horizontal axis wind turbine (web1).

Vertical axis wind turbines have the great advantage of adapting to any wind direction. They generate few vibrations and are the quietest. On the other hand, they offer worse performance and are more expensive. Figure 2 shows a typical vertical axis wind turbine (web2).





La energía minieólica con eje horizontal de potencias entre 15kw y 100kw es más frecuente para utilizarla en explotaciones agrícolas y naves industriales y la energía minieólica con eje vertical es más adecuada en edificios.

Además, la instalación de energía minieólica en edificios no requiere casi obra, produce energía a bajas velocidades de viento, soporta velocidades de viento de hasta 200 km/h.

Puede producir entre un 50 y un 70 por ciento del consumo eléctrico medio de un hogar y los mini aerogeneradores urbanos son cada vez más estéticos para reducir así el impacto visual.

Pese a que la generación de energía con grandes aerogeneradores supone actualmente un porcentaje importante en el sistema eléctrico nacional, la energía minieólica en España no se ha desarrollado de igual manera y no se está aprovechando su gran potencial en las ciudades, la industria o en explotaciones agrícolas.

Energía nanoeólica y su aplicación.

El entorno de las ciudades se aleja de ser uniforme respecto del fluido aire, se crean multitud de turbulencias y variaciones en las primeras capas de contacto con los edificios. Por ello puede ser interesante el estudio de sistemas de generación nanoeólica mediante pequeños generadores que pueden ser integrados en diferentes puntos del edificio. Esto debe ser introducido mediante un estudio de las diferentes velocidades de viento (figura 3 izquierda), para obtener los diversos puntos óptimos donde instalar los pequeños generadores de energía nano eólica (figura 3 derecha y figura 4).

Se busca un viento uniforme constante, de gran calidad, en el que el aerogenerador o mini aerogenerador en el caso de las ciudades, este perfectamente preparado y pueda extraer la máxima energía posible.

Este principio no puede ser la piedra angular para la instalación de la eólica y su integración en un entorno edificado. Sobre las azoteas de los edificios obtenemos unas variaciones significativas de intensidad y dirección lo que da lugar a turbulencias que son imprevisibles e incuantificables. En esa zona de turbulencias es donde debemos investigar cómo extraer la energía para que pueda ser utilizada en nuestros edificios, al tiempo, que dichos equipos tengan una integración arquitectónica adecuada.

Con la energía nano eólica se pretende proponer un modelo de equipo que pueda extraer cierta energía de forma fiable de la zona de turbulencias de los edificios. Se pretende crear una Cornisa Técnica donde los equipos instalados aporten una cantidad de energía qué colabore con la captación realizada por otras tecnologías paralelas, siempre desde la integración en el edificio.



Wind speed measurement and example of nano wind power system

Minielic energy with horizontal power axis between 15kw and 100kw is more common for use in farms and industrial buildings and mini-electric energy with vertical axis is more suitable in buildings.

In addition, the installation of minielic energy in buildings requires almost no work, produces energy at low wind speeds, supports wind speeds of up to 200 km/h.

It can produce between 50 and 70 percent of a household's average electricity consumption and urban mini wind turbines are increasingly aesthetic to reduce visual impact.

Although power generation with large wind turbines currently accounts for a significant percentage in the national electricity system, mini wind power in Spain has not developed in the same way and is not taking advantage of its great potential in cities, industry or on farms.

Nano wind power energy and its application.

The environment of cities moves away from being uniform to the fluid air, a multitude of turbulence and variations are created in the first layers of contact with buildings. Therefore it may be interesting to study nanoelic generation systems using small generators that can be integrated into different points of the building. This must be introduced by studying the different wind speeds (Figure 3 left), to obtain the various optimal points where to install the small wind nano power generators (Figure 3 right and Figure 4).

A constant, high quality uniform wind is sought in which the wind turbine or mini wind turbine in the case of cities, is perfectly prepared and can extract as much energy as possible.

This principle cannot be the cornerstone for the installation of wind and its integration into a built environment. On the roofs of the buildings we obtain significant variations in intensity and direction which results in turbulence that is unpredictable and unquestionable. In this area of turbulence is where we must investigate how to extract energy so that it can be used in our buildings, while having adequate architectural integration in such equipment.

With nano-wind power it is intended to propose a model of equipment that can reliably extract some energy from the turbulence zone of buildings. It is intended to create a Technical Cornice where the installed equipment provides an amount of energy that collaborates with the capture made by other parallel technologies, always from the integration into the building.





Una fase importante en el diseño mediante energía nano eólica es intentar averiguar cuál es el potencial eólico que existe realmente en los bordes de los edificios, dónde se podrían instalar de forma integrada con la arquitectura, las máquinas que puedan extraer la suficiente energía eólica que justifique su utilización.

Por ello, se deben realizar mediciones con equipos anemómetros instalados en las cornisas y antepechos de cubiertas, cuartos de máquinas y balcones de los inmuebles (figura 3 izquierda). Con ello se comprueba la alta variabilidad en cuanto a la dirección e intensidad del viento en dicha zona y establecer las hipótesis necesarias para verificar si es posible extraer energía de un entorno tan cambiante. Con un adecuado estudio se puede llegar a la conclusión de qué es posible obtener la suficiente energía para que sea tenida en cuenta, no solo por su aspecto económico, sino por su aspecto social y medioambiental en un entorno de edificios de consumo casi nulo.

Se deben emplear equipos que sean lo suficientemente pequeños para que su superficie de captación pueda considerarse de forma lineal utilizando semejanzas al cálculo por elementos finitos de la mecánicas de fluidos, dónde cada uno de esas pequeñas porciones del elemento sólido se comporta de forma independiente y en equilibrio, pero a su vez forma parte de un conjunto global que determina la eficacia del elemento analizado. No se trata de lo que pueda captar un solo equipo de nano eólica, sino del sistema global. Todo estará interconectado. La extracción de energía se produce de forma autónoma. Micro equipos de nano eólica en los bordes de cornisas, antepechos, balcones, etc., integrados con la composición arquitectónica, sin desvirtuar el ornato de las ciudades, serán capaces de aportar una cantidad de energía al conjunto global, a la Smart City, que la distribuirá o almacenará, de forma eficiente, según las necesidades del organismo ciudad o del edificio. Energía limpia, útil, de proximidad, inteligente y adaptativa.

Los captadores de micro eólica, darán solución a la implementación y uso de dicha energía en nuestros edificios y ciudades. Uso local de proximidad. Autonomía de la red de distribución general. Consumo de la energía generada en el propio inmueble. Interconexión con otros puntos de producción y consumo, generando y dando valor a las Smart City del futuro.

Una de las características fundamentales de la energía minieólica es el bajo impacto ambiental, en primer lugar por su menor tamaño e integración en entornos urbanos (impacto visual), y sobre todo porque se trata del aprovechamiento de un recurso como el aire, que no genera emisiones de CO2 y es respetuoso con el medioambiente.

Conclusiones

La energía mini eólica y nano eólica debe ser tenida en cuenta en los diseños de los edificios con el fin de optimizar los recursos energéticos y el uso de las energías renovables en los edificios.

La energía mini eólica puede tener buenas eficiencias en entornos de edificios aislados y otras aplicaciones

La energía nano eólica persigue conseguir la total utilización de los diferentes puntos del edificio con el fin de conseguir una mayor integración arquitectónica.

La energía minieólica genera energía próxima al punto de consumo, por lo que se evita las pérdidas por transporte de la generación distribuida. En el caso de instalaciones conectadas a la red, optimiza su aprovechamiento y se conecta directamente (red eléctrica distribuida existente).

Al igual que la fotovoltaica, la energía minieólica proporciona energía en lugares aislados, y se puede instalar como complemento a otro tipo de instalaciones ligadas al autoconsumo (placas fotovoltaicas).

An important phase in nano-wind design is to try to figure out what wind potential actually exists at the edges of buildings, where machines that can extract enough wind power that justifies their use could be installed in an integrated way with architecture.

Therefore, measurements should be made with anemometer equipment installed on the cornices and floors of roofs, engine rooms and balconies of the buildings (Figure 3 left). This checks the high variability in wind direction and intensity in this area and establishes the necessary hypotheses to check whether it is possible to extract energy from such a changing environment. With an adequate study it is possible to conclude what is possible to obtain enough energy to be taken into account, not only for its economic aspect, but for its social and environmental aspect in an environment of buildings of almost zero consumption.

Equipment that is small enough should be used so that its catchment surface can be considered linearly using similarities to finite element calculation of fluid mechanics, where each of these small portions of the solid element behaves independently and in balance, but in turn is part of a global set that determines the effectiveness of the element analyzed. It's not about what a single nano-wind team can pick up, it's about the global system. Everything will be interconnected. Energy extraction occurs autonomously. Micro nano wind equipment on the edges of cornices, siding, balconies, etc., integrated with the architectural composition, without distorting the ornate of the cities, will be able to contribute an amount of energy to the global whole, to the Smart City, which will distribute or store it, efficiently, according to the needs of the city agency or the building. Clean, useful, proximity, intelligent and adaptive energy.

Wind micro collectors will solve the implementation and use of such energy in our buildings and cities. Local proximity use. Autonomy of the general distribution network. Consumption of the energy generated in the property itself. Interconnection with other points of production and consumption, generating and giving value to the Smart City of the future.

One of the fundamental characteristics of mini-wind energy is its low environmental impact, firstly because of its smaller size and integration in urban environments (visual impact), and above all because it is the use of a resource such as air, which does not generate CO2 emissions and is environmentally friendly.

Conclusions

Mini wind and nano wind energy must be taken into account in building designs in order to optimize energy resources and the use of renewable energy in buildings.

Mini wind power can have good efficiencies in isolated building environments and other applications

Nano-wind energy aims to achieve full use of the different points of the building in order to achieve greater architectural integration.

Mini-wind power generates energy close to the point of consumption, thus avoiding the transmission losses of distributed generation. In the case of grid-connected installations, it optimizes its utilization and connects directly (existing distributed power grid).

Like photovoltaic, mini-wind energy provides energy in isolated locations, and can be installed as a complement to other types of installations linked to self-consumption (photovoltaic panels).

Referencias / References

- Abhinav, Rishabh, and Naran M. Pindoriya. Risk constrained optimal bidding strategy for a wind power producer with battery energy storage system using extended mathematical programming."IET Renewable Power Generation (2021).
- Inieco, Equipo. Desarrollo de proyectos de instalaciones de energía mini-eólica aislada. Editorial Vértice, 2011.
- Martínez, Juan de Dios Bornay. "Bornay.: 40 años de energía minieólica y fotovoltaica. Era solar: Energías renovables, 154 (2010): 54-59.
- Zhang, Yagang, et al. "A multi-stage predicting methodology based on data decomposition and error correction for ultra-short-term wind energy prediction. Journal of Cleaner Production (2021): 125981.
- Web1. Enair. https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e30pro
- Web2. Kliux. http://www.kliux.com/instalaciones/

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO PARA EL DESARROLLO DE LA GENERACIÓN RENOVABLE DE ENERGÍA

ENERGY STORAGE SYSTEMS FOR THE DEVELOPMENT OF A RENEWABLE ENERGY GENERATION

Jaime Langa-Sanchís
Ph. D. Student por la Universitat Politècnica de València. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: jailansa @ csa.upv.es

Javier Cárcel-Carrasco
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es

Abstract

The energy production sector has undergone numerous changes due to the speed at which the energy demand is evolving throughout the world. Recently, there has been a growing trend towards the production of energy from renewable sources, and with the lowest possible environmental impact. This fact has completely revolutionized the energy production sector, creating a development race across all sectors towards a cleaner and greener future. However, even though there are such present efforts to find the most sustainable and profitable source of clean energy, it is essential to make a strong investment in finding an efficient and sustainable system for storing the produced energy, especially due to the growing trend of application of electrical systems for most of both industrial and domestic elements.

For this, this article collects the most relevant energy storage systems today, which may be the best tool to achieve the so-called Climate Neutrality, before 2050.

Key words: Energy storage; Renewable energy; Climate neutral.

Resumen

El sector de la producción energética se ha visto sometida a numerosos cambios debido a la velocidad a la que evoluciona la demanda de energía a través del mundo. Recientemente, se ha desarrollado una creciente tendencia hacia la producción de energía procedente de fuentes renovables, y con un impacto medioambiental lo más bajo posible. Este hecho ha revolucionado completamente el sector de la producción energética, creando una carrera de desarrollo a través de todos los sectores hacia un futuro más limpio y ecológico. Sin embargo, pese a que existan esfuerzos tan presentes en encontrar la fuente de energías limpias más sostenible y rentable, es imprescindible realizar una fuerte inversión en encontrar un sistema eficiente y sostenible de almacenamiento de la energía producida, especialmente debido a la creciente tendencia a aplicación de sistemas eléctricos para la gran mayoría de elementos tanto industriales como domésticos.

Para ello, este artículo recoge los sistemas de almacenamiento energético más relevantes en la actualidad, que pueden suponer la mejor herramienta para alcanzar la denominada Neutralidad climática, antes del 2050.

Palabras clave: Almacenamiento energético; Energías renovables; Neutralidad climática.

Introducción

Desde la revolución industrial a finales del siglo XVIII, la actividad humana se ha visto fuertemente ligada a producción energética, especialmente debido a la utilización de instrumentos industriales cada vez más desarrollados.

A lo largo de los últimos dos siglos, la búsqueda de los sistemas más eficientes y capaces de producir energía ha caracterizado en gran medida el desarrollo de la sociedad hasta lo que se considera hoy en día. Así, cuando en las pasadas décadas comenzaron a coger fuerza los conceptos de sostenibilidad y concienciación climática, empezó a tomar protagonismo la producción de energía a partir de fuentes renovables [Santamarta, J. 2004], que en los últimos años se ha convertido en una tendencia muy notable en muchos sectores como el doméstico, el automovilístico o el industrial [Valencia, L. P. U., Moreno, F. L. A., & Rodríguez, J. C. R. 2015].

Sin embargo, una de las carencias que presenta la obtención de energía a partir de recursos renovables consiste en su poca flexibilidad, ya que mayoritariamente dependen de las condiciones ambientales para producir energía. Por esa razón, los sistemas de almacenamiento energético tienen tanta importancia [Schüth, F. 2012].

El desarrollo de los sistemas de almacenamiento energético es de crucial importancia para el crecimiento de las posibilidades de la generación renovable de energía. Este desarrollo daría lugar a numerosas posibilidades, como nuevos modelos de negocio, y grandes opciones de mercado, debido a que afecta a prácticamente todos los sectores profesionales y domésticos.

Además, se prevé inevitable un crecimiento exponencial del consumo de energía eléctrica para las próximas décadas, y para poder plantear un crecimiento acorde a los requerimientos del acuerdo de París, junto con la agenda de las Naciones unidas, es necesario desarrollar y perfeccionar toda una red producción sostenible de energía junto con sistemas de almacenamiento energético que doten de la flexibilidad necesaria al conjunto.

Existen numerosos sistemas de almacenamiento de energía, algunos de los cuales existen desde hace muchos siglos, y otros se encuentran aún en desarrollo. En la figura 1 se recogen los sistemas de almacenamiento energético más relevantes.

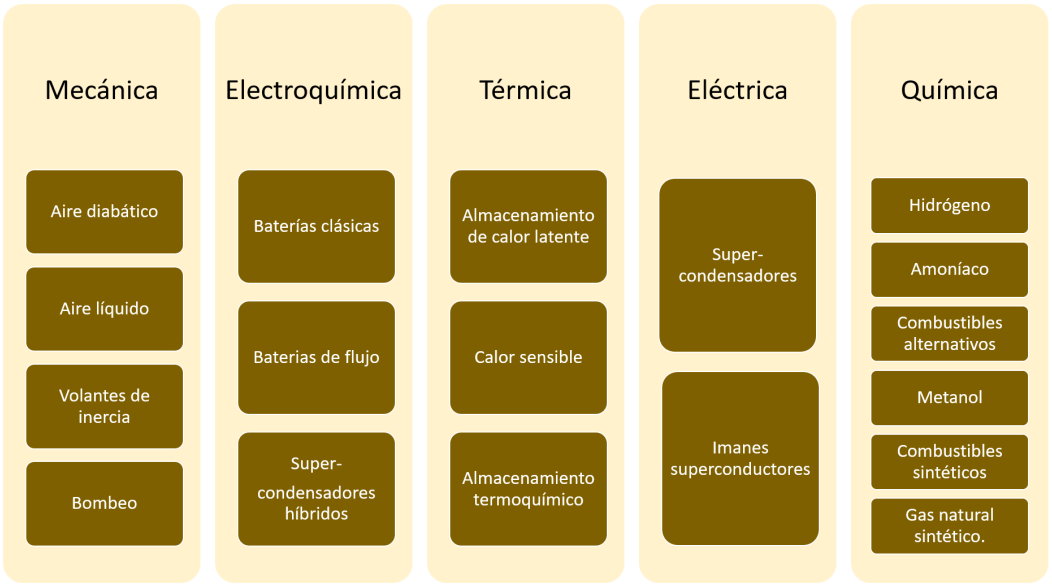


Fig. 1. Sistemas de almacenamiento de energía / Energy storage systems.

Introduction

Since the industrial revolution at the end of the 18th century, human activity has been strongly linked to energy production, especially due to the use of increasingly developed industrial instruments.

Throughout the last two centuries, the search for the most efficient systems capable of producing energy has largely defined the development of society up to what is considered today. Thus, while in the past decades the concepts of sustainability and climate awareness began to take centre stage, the production of energy from renewable sources began to take centre stage [Santamarta, J. 2004], which in recent years has become a very notable trend in many sectors such as domestic, automotive, or industrial [Valencia, L.P.U., Moreno, F.L.A., & Rodríguez, J.C.R. 2015].

However, one of the shortcomings of obtaining energy from renewable resources is its lack of flexibility, as they mostly depend on environmental conditions to produce energy. For that reason, energy storage systems are so important [Schüth, F. 2012].

The development of energy storage systems is of crucial importance for the growth of the possibilities of renewable energy generation. This development would give rise to numerous possibilities, such as new business models, and great market options since it affects practically all professional and domestic sectors.

Also, exponential growth in electricity consumption is expected to be inevitable for the coming decades, and to be able to propose growth under the requirements of the Paris agreement, together with the United Nations agenda, it is necessary to develop and polish a whole sustainable energy production network together with energy storage systems that provide the necessary flexibility to the whole.

There are numerous energy storage systems, some of which have existed for many centuries, and others are still under development. Figure 1 shows the most relevant energy storage systems.

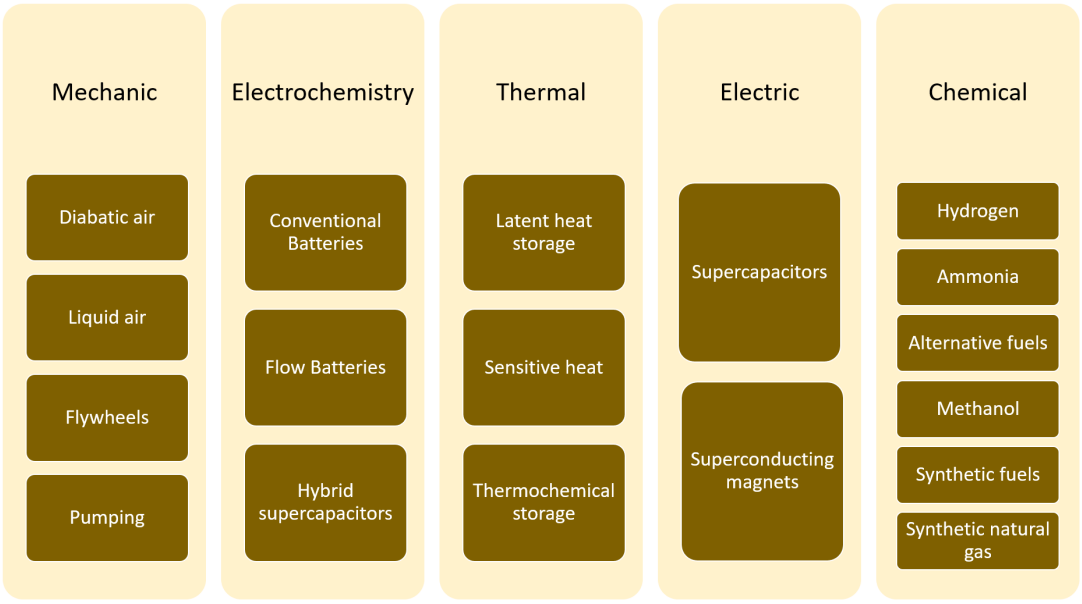


Fig. 2. Sistemas de almacenamiento de energía / Energy storage systems.

Sistemas de almacenamiento de energía

Teniendo en cuenta la tendencia cada vez más notable de obtención de energía a partir de recursos renovables, resulta inevitable contar con sistemas que permitan el almacenaje de grandes cantidades de energía, para dotar a este tipo de energía de gran versatilidad. A continuación, se enumeran los sistemas de almacenamiento de energía más relevantes en la actualidad.

Sistemas mecánicos

En este grupo de métodos, existen numerosos sistemas para almacenar la energía, sin embargo, el más relevante es el de las centrales hidráulicas de bombeo, ya que es un sistema altamente desarrollado, con un sistema apreciable en la figura 2, de bombeo de agua, a partir del que se almacena energía en forma de energía potencial gravitacional del agua. Cuando existe demanda, el agua almacenada en la parte superior, se libera mediante turbinas, produciendo energía.

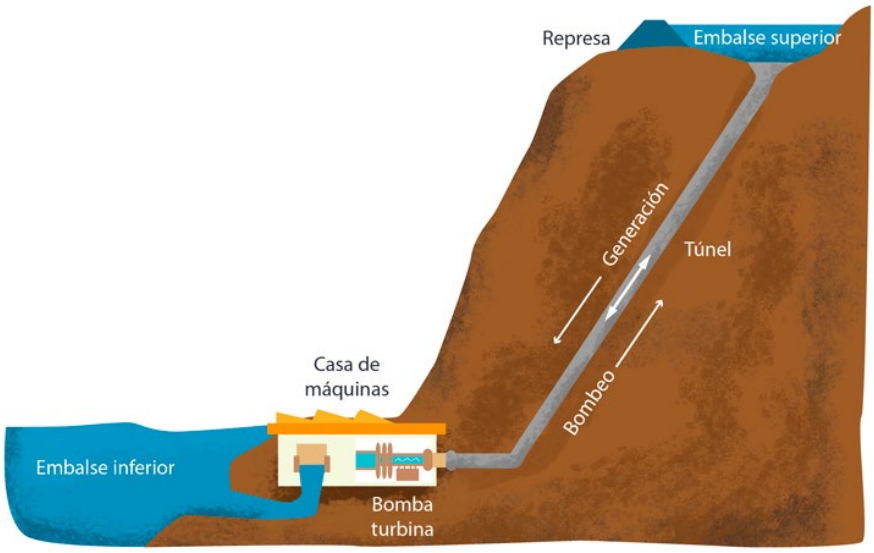


Fig. 3. Esquema de funcionamiento de central hidráulica / Hydraulic power plant operation diagram

Además de los sistemas a partir de centrales hidráulicas de bombeo, dentro de los métodos mecánicos, existen los sistemas de aire comprimido, de aire líquido y de volantes de inercia.

Sistemas electroquímicos

En este sistema, se convierte energía eléctrica en energía química para ser almacenada. Las baterías suelen estar compuestas de celdas que almacenan la energía a partir de procesos de oxidación y reducción.

Las baterías más habituales suelen fundamentarse en reacciones químicas que crean un flujo de electrones en un circuito externo, como se puede apreciar en la figura 3. Este tipo de baterías suelen estar compuestos por celdas que contienen un contenedor, dos electrodos, un material electrolito y una membrana permeable que permite el flujo iónico.

Además de las baterías convencionales, existen otras tipologías de baterías electroquímicas como las baterías de Flujo y Supercondensadores.

Energy storage systems

Considering the increasingly notable trend of obtaining energy from renewable resources, it is inevitable to have systems that allow the storage of large amounts of energy, to provide this type of energy with great versatility. The most relevant energy storage systems today are listed below.

Mechanical systems

In this group of methods, there are numerous systems to store energy, however, the most relevant are hydraulic pumping stations, since it is a highly developed system, with an appreciable system in figure 2, of pumping water, from which energy is stored in the form of the gravitational potential energy of water. When demand takes place, the water stored in the upper part is released by turbines, producing energy.

In addition to systems from hydraulic pumping stations, within mechanical methods, there are systems of compressed air, liquid air and flywheels.

Electrochemical systems

In this system, electrical energy is converted into chemical energy to be stored. Batteries are usually made up of cells that store energy from oxidation and reduction processes.

The most common batteries are usually based on chemical reactions that create a flow of electrons in an external circuit, as can be seen in figure 3. These types of batteries are usually composed of cells that contain a container, two electrodes, an electrolyte material and a permeable membrane that allows ionic flow.

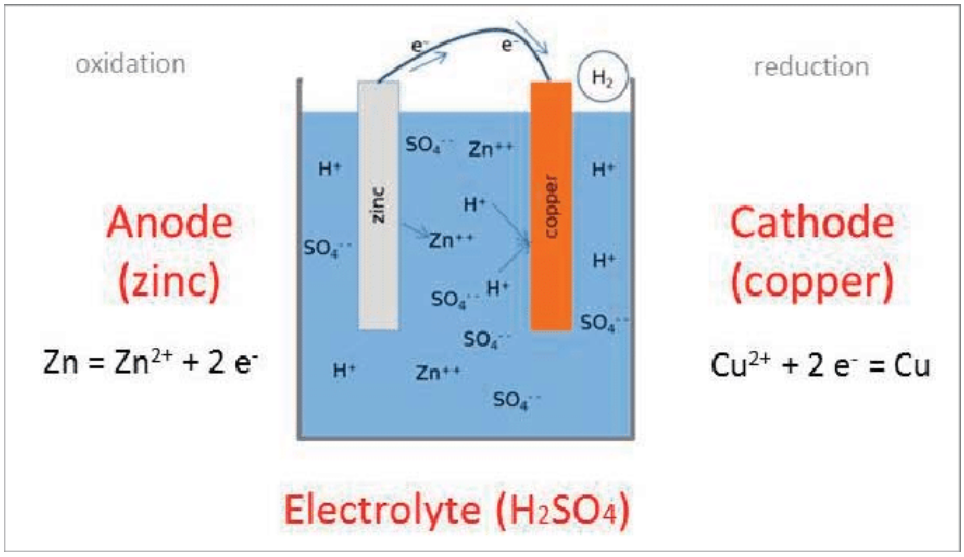


Fig. 4. Esquema de funcionamiento de baterías convencionales / Conventional battery operation diagram

In addition to conventional batteries, there are other types of electrochemical batteries such as Flux batteries and Supercapacitors.

Sistemas químicos

Este tipo de sistemas de almacenamiento suelen funcionar a partir de la transformación de energía eléctrica en energía de enlaces químicos de moléculas, de las que se extrae la energía en el momento que requiera.

Dentro de los sistemas químicos, el que cobra un mayor protagonismo es el sistema de hidrógeno, ya que en un futuro en el que este tipo de baterías esté adecuadamente desarrollado, podría suponer un punto de inflexión en el uso de las energías renovables y su almacenamiento.

El planteamiento de las baterías de hidrógeno consiste en invertir energía en disociar la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno, para poder obtener energía a partir de su asociación posterior. De esta forma, el esquema del funcionamiento de las baterías de hidrógeno se puede apreciar en la figura 4.

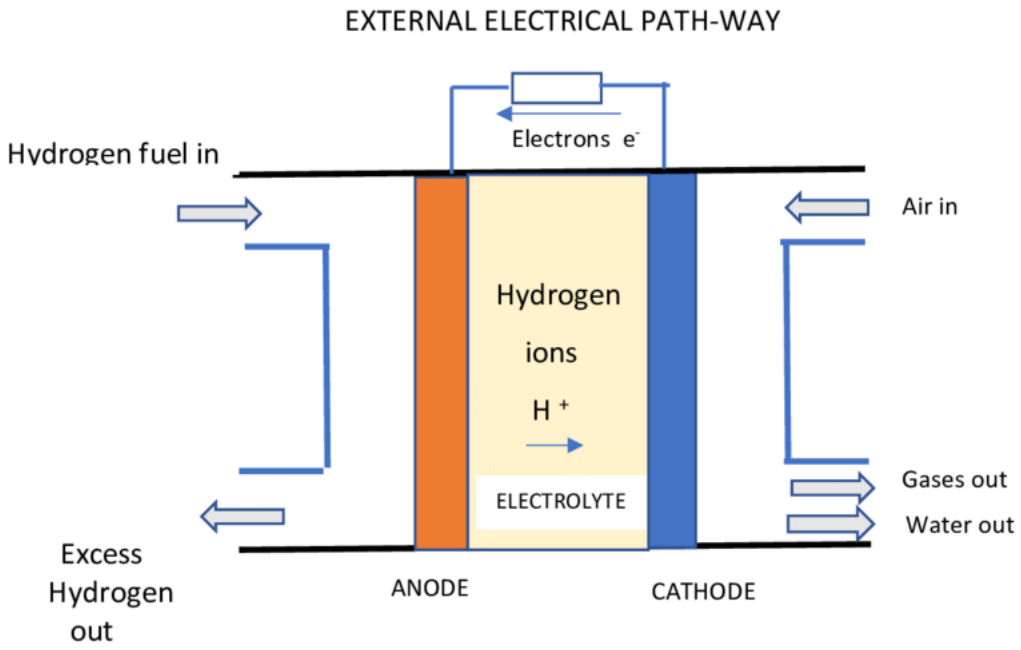


Fig. 5. Esquema de batería de hidrógeno / Hydrogen battery diagram.

Además del hidrógeno, existen otros elementos a partir de los que se puede aprovechar el almacenamiento de energía, tales como el amoníaco, el metanol, o los combustibles sintéticos.

Sistemas de almacenamiento de energía térmica

El caso más común en el que se encuentra este tipo de sistemas de almacenamiento de energía es ene las instalaciones de agua caliente para uso residencial. Su planteamiento consiste en aumentar o disminuir la temperatura de un material líquido con una elevada capacidad calorífica, para poder almacenar y liberar la energía térmica para aplicaciones de baja temperatura. Un caso de aprovechamiento de energía térmica y su almacenamiento se da en uso residencial, es el agua caliente sanitaria, calentada a partir del calor del sol, que se almacena para su uso posterior, como se puede apreciar en la figura 5.

Chemical Systems

This type of storage system usually works from the transformation of electrical energy into energy from chemical bonds of molecules, from which the energy is extracted at the required time.

Within chemical systems, the one that takes on the greatest prominence is the hydrogen system, since, in a future in which this type of battery is adequately developed, it could represent a turning point in the use of renewable energy and its storage.

The hydrogen batteries approach consists of investing energy in dissociating the water molecule into hydrogen and oxygen, to obtain energy from their subsequent association. In this way, the diagram of the operation of hydrogen batteries can be seen in figure 4.

In addition to hydrogen, there are other elements from which energy storage can be used, such as ammonia, methanol, or synthetic fuels.

Thermal energy storage systems

The most common case in which this type of energy storage systems is found is in hot water installations for residential use. His approach consists of increasing or decreasing the temperature of liquid material with a high heat capacity, to be able to store and release the thermal energy for low-temperature applications. A case of the use of thermal energy and its storage occurs in residential use, in the case of sanitary hot water, heat from sun radiation, which is stored for later use, as can be seen in figure 5.

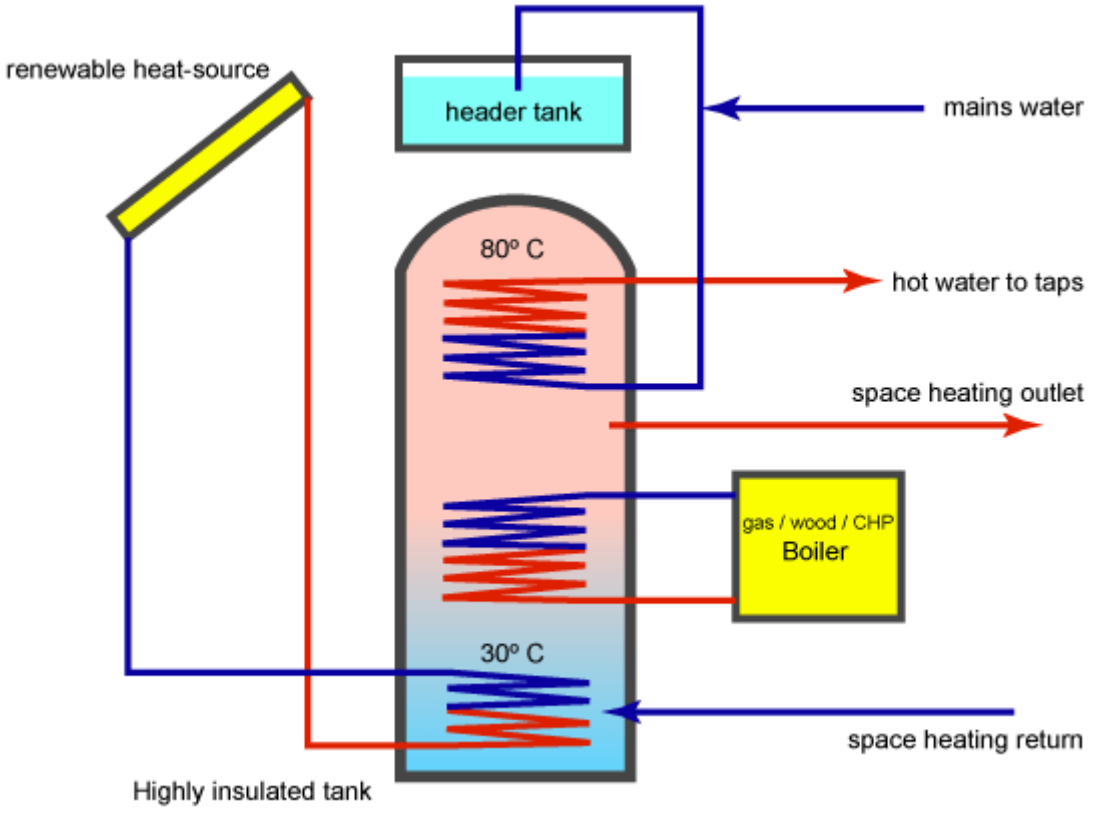


Fig. 6. Esquema de almacenamiento de agua caliente sanitaria calentada por radiación solar / Diagram of a domestic hot water storage heated by solar radiation.

Sistemas eléctricos

En este tipo de sistemas se dan dos tipologías de almacenamiento.

La primera es a partir de supercondensadores, que consisten en componentes electrónicos pasivos que permiten el almacenamiento de energía en pequeños periodos de tiempo, gracias a la acumulación de carga eléctrica entre un electrodo de carbón y un electrolito líquido. Tienen la particularidad de poder realizar cargas y descargas a elevados ratios de potencia. Un ejemplo de superconductores se puede apreciar en la figura 6 y 7.



Fig. 7. Supercondensadores / *Supercapacitors*

El segundo caso es el de los imanes superconductores, que almacenan la energía en campos magnéticos generados por una corriente eléctrica en bobinas. Se suele utilizar para sistemas con densidades de energía y potencias elevadas.

El almacenamiento para la transición energética

En función de las distintas características técnicas, las prestaciones, el tiempo de descarga o las aplicaciones en uso final de la energía, el amplio abanico de tecnologías de almacenamiento existente puede contribuir de manera combinada a aportar la flexibilidad que el sistema requiere para su la paulatina descarbonización, hasta lograr la neutralidad climática. Según las distintas tipologías de almacenamiento descritas anteriormente, el almacenamiento energético tiene diversas aplicaciones, y, en consecuencia, tiene la capacidad de proveer una amplia gama de servicios orientados a diversos usos finales (MTE, 2020).

Conclusiones

En los últimos años, el valor de las energías renovables, y la aplicación de sistemas de obtención de energías sostenibles ha crecido considerablemente. Sin embargo, es necesaria la consideración de sistemas de almacenamiento de energía lo más eficientes posible, teniendo en cuenta que ellas son necesarias para dotar al desarrollo de las energías renovables con la mayor versatilidad y flexibilidad posible.

En este escenario, este artículo ha sido de utilidad para poder realizar un repaso acerca de los distintos tipos de almacenamiento energético que existen, y cuáles tienen un mayor interés de cara al desarrollo futuro.

Electric systems

In this type of systems, there are two types of storage.

The first case is from supercapacitors, which consist of passive electronic components that allow the storage of energy in short periods, thanks to the accumulation of electrical charge between a carbon electrode and a liquid electrolyte. They have the particularity of being able to carry out charges and downloads at high power ratios. An example of superconductors can be seen in figure 6 and 7.



Fig. 7. Supercondensadores / *Supercapacitors*

The second case is about superconducting magnets, which store energy in magnetic fields generated by an electric current in coils. It is often used for systems with high power and energy densities.

Storage for the energy transition

Depending on the different technical characteristics, performance, discharge time or end-use applications of energy, the wide range of existing storage technologies can contribute in combination to providing the flexibility that the system requires for its gradual decarbonization, until achieving climate neutrality. According to the different storage typologies described above, energy storage has a variety of applications, and therefore has the ability to provide a wide range of services aimed at various end-uses (MTE, 2020).

Conclusions

In recent years, the value of renewable energy, and the application of systems for obtaining sustainable energy has grown considerably. However, it is necessary to consider as efficient as possible energy storage systems, bearing in mind that they are essential to provide the development of renewable energies with the greatest versatility and flexibility.

In this scenario, this article is useful to be able to review the different types of energy storage that exist, and which ones are of greater interest for future development.

Referencias / References

MTE. Ministerio para la transición ecológica. (2020). Borrador de la estrategia de almacenamiento energético. https://energia.gob.es.

Santamarta, J. (2004). Las energías renovables son el futuro. World Watch, 22(3440.16).

Schüth, F. (2012). Sistemas de almacenamiento energético. Investig. Cienc, (432), 70-77.

Valencia, L. P. U., Moreno, F. L. A., & Rodríguez, J. C. R. (2015). Importancia de las energías renovables en la seguridad energética y su relación con el crecimiento económico. Revista de investigación agraria y ambiental, 6(2), 231-242.

ARQUITECTURA EN GAVIONES DE PIEDRA PARA UN DISEÑO SOSTENIBLE

ARCHITECTURE IN STONE GABIONS FOR SUSTAINABLE DESIGN

Giacomo Di Ruocco
Researcher - Aggregate Professor at Department of Civil Engineering University of Salerno,via Giovanni Paolo II, 132 – 84084 Fisciano (Salerno) – Italy, for courses of Technical Architecture and Organization Building Site. Lecturer in "Technologies and practices for sustainability in construction", at the PhD course in Risk and Sustainability in Civil, Building and Environmental Engineering Systems, at the University of Salerno. ASN Associate Professor for the macro sector 08/C1: Design and Technological Design of Architecture. PhD in Structural Engineering Building and Urban Recovery, ad the University of Salerno. E-mail: gdiruocco@unisa.it

Roberta Melella
Engineer - PhD Student in"Risk and Sustainability in Civil, Architecture and Environmental Engineering Systems" at Civil Engineering Department, University of Salerno, via Giovanni Paolo II, 132 – 84084 Fisciano (Salerno) – Italy. E-mail: rmelella@unisa.it

Abstract

Traditional buildings were composed of chemically inert, separable parts, such as stone, brick or wood. Almost always materials recovered from existing buildings were reused to make new ones. In the contemporary building scene, new generation materials, in particular composite materials and those assembled using chemical sealants, have been integrated into the contemporary way of building, making buildings much less inert, sometimes unhealthy, less separable in their constituent parts, and construction sites much noisier and more polluting. Design research has recently been experimenting with the possibility of combining the multiple performance requirements of the building envelope with the use of construction techniques that can guarantee the reversibility and recovery of the components. In this scenario, the opportunity of the "dry" building system is highlighted: thinking of the building no longer as a monolithic system but as a set of components, as much as possible of natural origin, which, at the end of their life cycle, can be reused, as by-products, through the use of minimal or no crushing and selection processes.

Keywords
Building Envelope, Reversibility, Dry systems, Stone gabions, Reuse and Recycling, Life Cycle Inventory approach

Introducción

La demolición es un tema muy relevante en la sociedad actual, ya que genera un considerable flujo indiferenciado de escombros que hace que cualquier operación de recuperación sea compleja y costosa (Bressi G., 1999). A principios del nuevo milenio, un estudio de la Comunidad Europea, "Prácticas de gestión de residuos de construcción y demolición y su impacto económico", puso de manifiesto la necesidad de aplicar una estrategia que pudiera dar lugar a un instrumento normativo que se propusiera al Consejo para su aprobación (Nicosia S. et al., 2000). Una serie de estudios realizados mediante pruebas de laboratorio (estudio realizado por Copple, F. Costes y consideraciones energéticas) demuestran que la reutilización de los residuos de demolición, por ejemplo en el hormigón o el aislamiento, hace que el producto final sea más eficiente desde el punto de vista del rendimiento y la mecánica. El diseño "sostenible" significa tener en cuenta no sólo los requisitos de seguridad, funcionalidad, usabilidad, comodidad y gestión, sino también los relacionados con la flexibilidad respecto a las futuras manipulaciones que pueda sufrir el edificio durante su ciclo de vida. A lo largo de los años, el edificio tiende a cambiar, debido a la evolución de las prácticas de uso o del número de sus usuarios, o a las adaptaciones reglamentarias y/o funcionales. Algunos de estos cambios pueden controlarse con un proyecto capaz de predecir el (probable) comportamiento posterior de los usuarios, a los que responder con articulaciones, espacios y dispositivos adecuados. El "estilo" constructivo, por tanto, debe garantizar el máximo nivel de reversibilidad, desligando la concepción "monolítica" del edificio, favoreciendo futuras operaciones de mantenimiento, transformación y demolición. Por lo tanto, es esencial adoptar un enfoque de diseño que favorezca el desmontaje y la separabilidad de las partes del edificio cumpliendo, como mínimo, los siguientes requisitos:

-accesibilidad: cada elemento o capa funcional debe concebirse prestando especial atención a las operaciones a las que, dicho elemento, estará sometido durante o al final de su ciclo de vida. Esto implica la necesidad de dedicar especial atención a la evaluación/previsión de las modalidades de conexión/desconexión de cada elemento técnico con respecto a los contiguos;

-desmontabilidad: un elemento técnico debe diseñarse y fabricarse de manera que se facilite su desmontaje, con el fin de recuperarlo y/o eliminarlo y/o reubicarlo. Esto implica la identificación previa de los elementos técnicos más susceptibles de ser manipulados durante el ciclo de vida del edificio, y el diseño de estos elementos teniendo en cuenta este requisito particular;

-recuperabilidad: al final de su ciclo de vida (o incluso en caso de retirada para mantenimiento, o de sustitución por obsolescencia tecnológica y/o funcional) cada elemento técnico debe ser fácilmente recuperable y reutilizable para una función similar o diferente a su uso anterior o, en hipótesis extremas, reintroducido en el ciclo de producción del que procede.

Estos requisitos implican un proceso de construcción basado, en la medida de lo posible, en elementos técnicos diseñados y fabricados en capas superpuestas ensambladas con conectores mecánicos reversibles y, por tanto, fácilmente desmontables.

Introduction

Demolition is a very important issue in today's society, generating a considerable undifferentiated flow of rubble that makes any recovery operations complex and costly (Bressi G., 1999). At the beginning of the new millennium, a study of the European Community, "Construction and Demolition Waste Management Practices and their Economic Impact", highlighted the need to implement a strategy that could lead to a regulatory instrument to be proposed to the Council for approval (Nicosia S. et al., 2000). A series of studies carried out by means of laboratory tests (study by Copple, F. Costs and energy considerations) show that the re-use of demolition waste, for example in concrete or insulation, makes the final product more efficient in terms of performance and mechanics. ‘Sustainable' design means taking into account not only safety, functionality, usability, comfort and management requirements, but also requirements related to flexibility with respect to future manipulations that the building may undergo during its life cycle. Over the years, the building tends to change, due to changing usage practices or the number of its users, or due to

regulatory and/or functional adaptations. Some of these changes can be controlled by a design capable of foreseeing the (probable) subsequent behaviour of the users, to whom we must respond with adequate articulations, spaces and devices. The construction "style" must therefore guarantee the highest level of reversibility, unhinging the "monolithic" conception of the building, favouring future maintenance, transformation and demolition operations. It is therefore essential to adopt a design approach that encourages the disassembly and separability of the building's parts in compliance with at least the following requirements:

-*Accessibility*: each element or functional layer should be conceived with particular attention to the operations to which, this element, will be subjected during or at the end of its life cycle. This implies the need to pay particular attention to the assessment/vision of how each technical element will be connected/disconnected to neighbouring ones;

-*Disassemblability*: a technical element should be designed and manufactured in such a way as to facilitate its disassembly for the purpose of recovery and/or disposal and/or relocation. This implies the prior identification of the technical elements most likely to be manipulated during the life cycle of the building, and the design of these elements with this particular requirement in mind;

-*Recoverability:* at the end of its life cycle (or even in the case of removal for maintenance, or replacement due to technological and/or functional obsolescence) each technical element must be easily recovered and reused for a function similar to or different from its previous use, or, in the extreme case, reintroduced into the production cycle from which it was generated.

These requirements imply a construction process based, where possible, on technical elements designed and manufactured on superimposed layers assembled with reversible mechanical connectors, and therefore easily de-constructed.

El sistema de construcción "en seco" como requisito de reversibilidad

El término montaje indica la fase final del ensamblaje de una estructura o una máquina, en la que las piezas individuales previamente ensambladas se unen según una lógica constructiva precisa. La cultura de la construcción europea contemporánea se basa en principios que, en cierto modo, recuerdan las exigencias del pasado, como la rapidez de ejecución, la reducción de costes, el ahorro de energía, la precisión mecánica, el desmontaje-reciclaje y la flexibilidad. Desde esta perspectiva, el uso de sistemas basados en el montaje en seco es una práctica cada vez más frecuente. El paso de la arquitectura "húmeda" a la "seca" implica un cambio de mentalidad: cambia la mano de obra (relación entre artesano e industria), cambian las estrategias de diseño (arquitecto-ingeniero-físico técnico), cambia el emplazamiento, cambian los tiempos, podríamos decir que cambian todos o casi todos los paradigmas de la arquitectura tradicional. En resumen, la arquitectura cambia. El debate cultural entre las dos formas de "pensar" la arquitectura es realmente acalorado y ferviente: muchos, como Renzo Piano, Norman Foster, Mario Cucinella, creen que es injusto demonizar los valores de la construcción en seco, pero nunca debemos perder de vista los valores fundacionales de nuestra arquitectura. *"...La utilización de elementos discontinuos de dimensiones discretas (losas, paneles con ladrillos vistos montados dentro de una estructura de acero, etc.) responde entonces a la necesidad de nacionalizar las operaciones de transporte y montaje en obra (reducción de los puntos de anclaje), con la eliminación en particular de las fases "húmedas" y su sustitución por técnicas de montaje en seco..."* (Di Ruocco G., 2012).

Dry construction system as a reversibility requirement

The term assembly refers to the final stage in the assembly of a structure or machine, in which the individual parts previously assembled are joined together according to a precise construction logic. The culture of contemporary European construction is based on principles that, in a certain sense, recall the requirements of the past, such as speed of execution, cost reduction, energy saving, mechanical precision, disassembly-recyclability and flexibility. In view of this, the use of systems based on dry assembly is becoming increasingly common. The transition from 'wet' to 'dry' architecture implies a change in thinking: the workforce changes (the relationship between craftsmen and industry), the design strategies change (architect-engineer-technical physicist), the building site changes, the times change, we could say that all or almost all the paradigms of traditional architecture change. In short, Architecture changes. The cultural debate between the two ways of

"thinking" about architecture is really heated and fervent: many, such as Renzo Piano, Norman Foster, Mario Cucinella, believe that it is unfair to demonise the values of dry construction, but we must never lose sight of the founding values of our architecture. *"...The use of discontinuous elements of discrete dimensions (slabs, panels with exposed bricks mounted inside a steel structure, etc.) also meets the need to nationalise transport and assembly operations on site (reduction of anchorage points), in particular by eliminating the "wet" phases and replacing them with dry assembly techniques..."* (Di Ruocco G., 2012).

La técnica del gavión de piedra

Las evidencias del uso de esteras y cestas hechas de material vegetal tejido para transportar y consolidar montículos de tierra o piedras sueltas se remontan a las civilizaciones más antiguas. En la época moderna, a partir del siglo XVI, se empezaron a crear sistemas constructivos de contención de la tierra, sobre todo con fines militares, basados en el apilamiento, primero de grandes cestos, luego de contenedores de malla metálica. Esta práctica, especialmente eficaz y de fácil y rápida aplicación, se conoció rápidamente como el sistema de "gaviones". La técnica de construcción de los gaviones ha evolucionado rápidamente hasta que, recientemente, se ha estandarizado principalmente en la fabricación de una forma paralelepípeda, consistente en una jaula de malla de alambre galvanizado (figures 1-2), rellena de piedras seleccionadas de diversos tamaños en lugar del relleno de tierra original. El elemento tiene una buena resistencia a las cargas estáticas y una resistencia moderada a la flexión. Es susceptible de numerosas variaciones dimensionales, cromáticas y de material y puede utilizarse para crear, por superposición, dispositivos autoportantes resistentes a la gravedad. Gracias a estas características, los sistemas son ideales en obras donde se requiera una especial resistencia a los empujes laterales y a las cargas estáticas verticales, lo que los hace idóneos en la construcción de muros de contención y de contención de terraplenes (figura 3), aterrazamientos, laderas, terraplenes de carreteras y, en general, en obras antierosión y antideslizamiento para la protección del suelo (figura 4), así como en el diseño verde y paisajístico, a pequeña y gran escala.

Stone gabions technique

The use of mats and woven baskets made of plant material for transporting and consolidating mounds of earth or loose rubble dates back to the earliest civilisations. In modern times, from the 16th century onwards, constructive systems to contain the soil began to be developed, especially for military purposes, based on the stacking, first of large baskets, then of wire mesh containers. This practice, which was particularly effective and quick and easy to implement, quickly became known as the 'gabion' system. The construction technique of the gabions has evolved rapidly until, recently, it has been standardised mainly in the manufacture of a parallelepiped shape, consisting of a cage of galvanised wire mesh (figures 1-2), filled with selected stones of various sizes in place of the original earth filling. The element has good resistance to static loads and moderate flexural strength. It is available in a wide range of sizes, colours and materials and can be used to create self-supporting gravity-resistant devices by overlapping. Thanks to these characteristics, the systems are ideal for works where particular resistance to lateral thrusts and vertical static loads is required, making them ideal in the construction of retaining and containment walls for embankments (figura 3), terracing, hillsides, road embankments and, in general, in anti-erosion and anti-landslide works for soil protection (figura 4), as well as green and landscape design, on a small and large scale.



Figures 1-2 : Galvanised iron cages for stone gabion structures.

Table 1 Chemical analysis of gabion reinforcement

Paramater		%
Iron	FeO	9 - 40
Silicon	SiO2	8 - 20
Calcium	CaO	25 - 40
Magnesium	MgO	5 -11
Aluminium	Al2O3	1 -10
Manganese	MnO	1 - 8
Other elements	-	< 2
Other parameters		
Relative Density	kg/m3	3.800
Density in heap	kg/m3	2.000

Table 2 Chemical compliance with European standards.

Particle shape	
Shape index	SI40
Flattening coefficient	FI35
Grain density	3,96 Mg/m3
Particle size	0/90
Typical particle size curve	90 mm: 100 %; 63 mm: 95 %; 31.5 mm: 78 %; 22.4 mm: 59 %; 11.2 mm: 20 %; 5.6 mm: 5 %; 2 mm: 2 %; 1 mm: 1 %; 0.5 mm: 1 %; 0.25 mm: 0 %; 0.125 mm: 0%; 0.063 mm: 0.3 %
Category/Tolerance	GA75 - GTA25
Purity	
Content of fines	f3
Methylene blue value	MB0.1
Sand equivalent	SE92
Percentage of crushed particles	C90/3
Fragmentation resistance	LA20
Friction resistance	MDE15
Volume stability	V5
Composition/content	
Classification of recycled coarse aggregates	X100
Water-soluble sulphates of recycled aggregates	NPD
Acid-soluble sulphates	AS0,2
Total sulphur content	S2
Components altering the setting/hardening speed of mixtures with hydraulic binders	NPD
Water absorption	0,8%
Release of heavy metals	free
Release of polyaromatic hydrocarbons	free
Release of dangerous substances	free
Frost/thaw durability	F1



Figure 3-4: Gabion structures for the containment of embankments.

Proceso de construcción

Los gaviones se fabrican principalmente in situ. En la actualidad, los procesos de prefabricación fuera de la obra son cada vez más populares para el gavión tradicional, hecho de alambre galvanizado trenzado, en su mayoría con una malla hexagonal, que sigue siendo muy utilizado en las obras de paisajismo; estos procesos de fabricación en planta han llevado a muchas empresas especializadas a crear sistemas modulares de gaviones hechos con una malla de varillas de acero rígidas, dobladas y soldadas, con una malla cuadrada o rectangular, galvanizada en caliente después de la construcción de la estructura del cajón para que ningún punto de la estructura metálica quede sin su cubierta protectora. La piedra de relleno no será escarchada ni friable y tendrá un tamaño medio de 1,5-2 veces el tamaño máximo de la malla de la red. El relleno se realiza mediante vibrocompactación, con un ligero sobrellenado, ya que los trozos de piedra, durante las posteriores operaciones de manipulación y colocación, tienden a asentarse más, dejando posibles huecos que pueden reducir las prestaciones de resistencia estática del elemento. Los nuevos productos son modulares, más rígidos y fáciles de manejar que los tradicionales, y son adecuados para la construcción de muros autoportantes de hasta 7 metros de altura (figura 4). Los tipos de rellenos de piedra son numerosos y permiten obtener múltiples texturas: el aspecto de un muro de gaviones es el de una pared percibida a través de la filigrana metálica y marcada por las sutiles discontinuidades entre los módulos que se apoyan unos sobre otros y unos junto a otros. Gracias a las mejoras en la producción, está surgiendo un nuevo horizonte de aplicación en la arquitectura contemporánea, como demuestran algunas aplicaciones que se remontan a finales del siglo pasado. El nuevo concepto de "muro" que transmiten los gaviones, en su plasticidad, en sus superficies irregulares, expresivas y vibrantes con espacios vacíos y llenos, con retrocesos y avances, con claroscuros, es una clara referencia a la arquitectura minimalista y brutalista (figura 5). La malla metálica, un diafragma permeable a la vista, encierra las piedras simplemente hendidas o desbastadas, confiriendo volumetría y masividad a todo el sistema, especialmente eficaz para las obras de contención de suelos, ya que también tiene capacidad drenante. Además de estos aspectos formales, el uso de gaviones presenta una serie de características técnicas y de rendimiento que responden a algunos requisitos fundamentales de la arquitectura contemporánea. La fabricación e instalación de estos elementos tienen un impacto energético muy bajo, son respetuosos con el medio ambiente, tienen una gran capacidad de integración en el paisaje natural y, gracias a su original capacidad de combinar funciones de drenaje, con propiedades de baja retención de agua, pueden ser un lugar de desarrollo de una biocenosis vegetal espontánea o inducida. Los gaviones son permeables al aire y, al mismo tiempo, tienen una gran inercia térmica; son económicos, fáciles de transportar, duraderos; no requieren mantenimiento, son modulares, se pueden desmontar y reutilizar; además, desde la primera fabricación, pueden utilizar material reciclado como relleno. Enric Miralles fue uno de los primeros diseñadores en utilizar muros de gaviones para contener el terreno en el Cementerio de Igualada (1985-96) (figura 6). Los primeros prototipos de arquitectura "verde", que trasladaron la tecnología de los gaviones del mundo de las obras hidráulicas y viales a un campo de aplicación más propiamente arquitectónico, fueron realizados en Francia y en el Reino Unido por Ian Ritchie y John Smart, diseñadores ingleses comprometidos con la investigación de la sostenibilidad a través de la integración de la arquitectura y el paisaje natural. En esta fase, la arquitectura de "gaviones" comenzó a asumir una compleja gama de necesidades expresivas, junto con los requisitos funcionales y de rendimiento, representando una solución eficaz e innovadora. En el Invernadero de Terrasson de 1994 (figura 7) y en el Centro de Regatas de Londres de 1999, emplearon cajas de malla metálica rellenas de material lítico para la ejecución de muros de escarpa macizos, cuyas propiedades de considerable inercia térmica, y al mismo tiempo de permeabilidad al aire, satisfacen los requisitos de rendimiento de los edificios de alta eficiencia energética.

Construction process

Gabions are mainly manufactured in situ. Nowadays, off-site prefabrication processes are becoming increasingly widespread for the traditional gabion, made of twisted galvanised wire, mostly with a hexagonal mesh, which is still widely used in landscape design work; these in-plant manufacturing processes have led many specialist companies to create modular gabion systems made of a mesh of rigid steel rods, bent and welded, with a square or rectangular mesh, hot-dip galvanised after the box structure has been built so that no point in the metal structure is left without its protective covering. The backfill shall not be frosty or friable and shall have an average grain size

of 1.5-2 times the maximum mesh size of the net. Filling is carried out by vibrocompaction, with a slight overfilling, since the stone pieces tend to settle further during the subsequent handling and laying operations, leaving possible voids which may reduce the element's static resistance performance. The new products are modular, more rigid and easier to handle than traditional ones, and are suitable for the construction of self-supporting walls up to 7 metres high (figure 4). The types of stone fillings are numerous and allow a variety of textures to be obtained: the appearance of a gabion wall is that of a wall perceived through the metal filigree and marked by the subtle discontinuities between the modules resting on top of each other and next to each other. Thanks to improvements in production, a new horizon of application in contemporary architecture is now emerging, as demonstrated by some applications dating back to the end of the last century. The new concept of the 'wall' conveyed by the gabions, in its plasticity, in its irregular surfaces, expressive and vibrant with empty and full spaces, with retreats and advances, with chiaroscuro, is a clear reference to minimalist and Brutalist architecture (figure 5). The wire mesh, a diaphragm permeable to view, encloses the stones that have been simply split or roughly hewn, giving volume and massiveness to the entire system, which is particularly effective for ground containment works, since it also has a draining capacity. In addition to these formal aspects, the use of gabions presents a series of technical and performance characteristics in line with certain fundamental requirements of contemporary architecture. The manufacture and installation of these elements have a very low energy impact: they are eco-compatible, they have a high capacity for integration with the natural landscape and, thanks to their original capacity to combine drainage functions with properties of modest water retention, they can constitute a place for the development of a spontaneous or induced plant biocenosis. The gabions are permeable to air and, at the same time, have a high thermal inertia; they are cheap, easy to transport, durable; they do not require maintenance, are modular, can be dismantled and can be reused; furthermore, they can use recycled material as a filler right from the first manufacture. Enric Miralles fue uno de los primeros diseñadores en utilizar muros de gaviones para contener el terreno en el Cementerio de Igualada (1985-96) (figure 6). Los primeros prototipos de arquitectura "verde", que trasladaron la tecnología de los gaviones del mundo de las obras hidráulicas y viales a un campo de aplicación más propiamente arquitectónico, fueron realizados en Francia y en el Reino Unido por Ian Ritchie y John Smart, diseñadores ingleses comprometidos con la investigación de la sostenibilidad a través de la integración de la arquitectura y el paisaje natural. En esta fase, la arquitectura de "gaviones" comenzó a asumir una compleja gama de necesidades expresivas, junto con los requisitos funcionales y de rendimiento, representando una solución eficaz e innovadora. En el Invernadero de Terrasson de 1994 (figure 7) y en el Centro de Regatas de Londres de 1999, emplearon cajas de malla metálica rellenas de material lítico para la ejecución de muros de escarpa macizos, cuyas propiedades de considerable inercia térmica, y al mismo tiempo de permeabilidad al aire, satisfacen los requisitos de rendimiento de los edificios de alta eficiencia energética.



Figure 5: The new wall concept conveyed by the gabion structure, in its brutalist plasticity and expressiveness.



Figure 6: Enric Miralles, Carme Pinós Lugar: Igualada Cemetery – Barcellona (1985-1991).

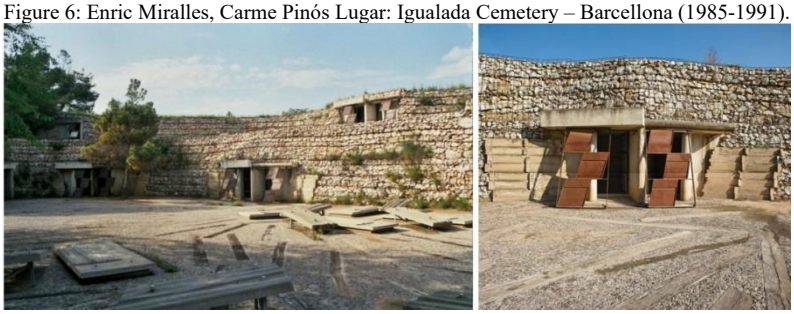


Figure 7: Ian Ritchie: Greenhouse - Terrasson, Limoges, Francia (1992-93).

El estudio de caso: Dominus Winery por Herzog & De Meuron - California

Con el edificio Dominus Winery en California (1995-97), de Herzog & De Meuron, el muro de gaviones se elevó por primera vez a la categoría de verdadero sistema constructivo y de icono expresivo de la arquitectura sin precedente (figura 8). En el edificio, los sólidos de malla metálica, de 45×45x90 cm, se rellenan con calados de un basalto local (estratificado en el interior de las "cajas" en lechos de diferentes tamaños y densidades) y forman una envoltura maciza que contribuye a regular, con su llamativa masa, las considerables variaciones locales de temperatura que se dan entre el día y la noche. Aunque están ancladas a una subestructura metálica enmarcada, las jaulas crean un muro autónomo y autoportante, con su propio grosor y fisicidad, y forman un dispositivo regular como si fueran los bloques paralelepípedos de una obra cuadrada. A la malla metálica se le confía la función de contención y definición volumétrica de la masa estructural; a la acumulación de piedras sueltas se le confía la cohesión por la fuerza de la gravedad; la selección del material y los caracteres cromáticos definen el renderizado extático final. El "muro de gaviones de piedra" también permite una mayor evaluación en términos de modulación de la luz, a ambos lados del muro cortina. El tamaño de las piedras varía, formando, en la alternancia de texturas más densas o más escasas, un diafragma diferenciado que modula el paso de la luz y el aire en el interior del edificio. La modulación de los tamaños de los elementos de piedra en el interior de los gaviones también permite reproponer los antiguos sillares en clave moderna: la trama más pequeña y regular de las piedras enjauladas en las partes inferiores de los gaviones hace que la masa de piedra sea más compacta, opaca y pesada en la base, mientras que el aumento gradual del tamaño y la irregularidad de las piedras hacia la parte superior del gavión impone una rarefacción y una riqueza de huecos cada vez mayor en la textura del muro, lo que conduce a la desmaterialización de su consistencia, que se perfora en los últimos huecos cerca del techo. Sin embargo, la "pesadez" óptica del paramento de la fachada se invierte aquí: mientras que los registros de las fachadas rústicas del pasado progresaban desde los sillares informes y expresivos para hacerse cada vez más lisos y regulares a medida que avanzaban desde la base hasta la cima, en la Cantina Dominus este canon se invierte y las piedras "más rústicas" se colocan en la parte superior. Herzog & De Meuron utilizan los gaviones para explorar un nuevo perfil estético para la arquitectura contemporánea, haciendo una fuerte declaración en la escena arquitectónica internacional. Al mismo tiempo, utilizan estos elementos para combinar los volúmenes cerrados, rígidos y compactos de la bodega con el suave paisaje de colinas y verdes viñedos que se extienden hasta donde alcanza la vista. Sobre todo, aprovechan al

máximo las cualidades de rendimiento de esta técnica de construcción: inercia térmica y permeabilidad al aire, especialmente adecuadas para el tipo de funcionalidad del proyecto.

The case study: Dominus Winery by Herzog & De Meuron – California

With Herzog & De Meuron's Dominus Winery building in California (1995-97), the gabion wall is elevated for the first time to the status of a true construction system and an unprecedented expressive icon of architecture (figure 8). In the building, the 45×45x90 cm wire mesh solids are filled with drafts of a local basalt (layered inside the "boxes" in beds of different sizes and densities) and form a massive envelope that contributes to regulating the considerable local temperature variations between day and night. Although anchored to a framed metal substructure, the cages form an autonomous, self-supporting wall with its own thickness and physicality, forming a regular device as if they were the parallelepiped blocks of a square structure. The containing wire mesh is entrusted with the function of dimensional containment and volumetric definition of the structural mass; the internal accumulation of incoherent stones is entrusted with cohesion by force of gravity; the selection of the material and the chromatic characteristics defines the final aesthetic result. The "stone gabion wall" also allows for further evaluation of the modulation of light, on both sides of the curtain wall. The size of the stones varies, constituting, in the alternation of denser or sparser textures, a differentiated diaphragm that modulates the passage of light and air inside the building. The modulation of the sizes of the stone elements inside the gabions also allows the ancient ashlars to be re-proposed in a modern key: the smaller, more regular weave of the caged stones in the lower parts of the gabions means that the stone mass is more compact, opaque and heavy at the base, while a gradual increase in the size and irregularity of the stones towards the top of the gabions means that the texture of the wall is increasingly thinner and richer in voids, until the texture is dematerialised and perforated near the roof. However, the optical "heaviness" of the façade face is here inverted: if, in fact, the registers of the rusticated façades of the past, proceeding from the base to the top, progressed from shapeless and expressive ashlars to become increasingly smooth and regular, in the Cantina Dominus this canon is inverted and the "more rustic" stones are placed at the top. Herzog & De Meuron use gabions to explore a new aesthetic profile for contemporary architecture, making a strong statement on the international architectural scene. At the same time they use these elements to blend the rigid, compact closed volumes of the winery with the soft landscape of hills and green vineyards stretching as far as the eye can see. Above all, they make full use of the performance qualities of this construction technique: thermal inertia and air permeability, which are particularly suitable for the type of functionality of the project.

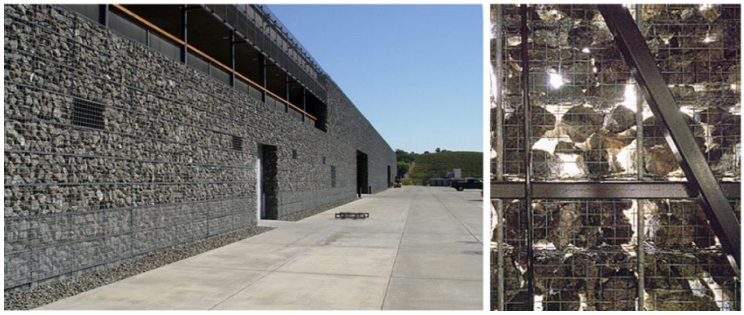


Figure 8: Herzog & De Meuron: Dominus Winery, California (1995-97).

Instrumentos y métodos

La evaluación de la sostenibilidad de la arquitectura de gaviones se llevó a cabo mediante la siguiente articulación metodológica:

- Definición de los indicadores de rendimiento para el análisis comparativo:

o Transmitancia térmica del sistema de envoltura (U=W/m2K);

o GWP, Global Warming Potential (CO2eq incorporado por metro cuadrado de envoltura: kgCO2eq/m2);

- Caracterización tecnológica y cálculo del rendimiento energético (U) y del PCG (enfoque ICV), con referencia a dos envolventes atribuibles a tecnologías tradicionales (EN_1, EN_2);

- Caracterización tecnológica y cálculo del rendimiento energético (U) y del PCG (enfoque ICV), con referencia al estudio de caso (EN_3);

- Diseño de la variante tecnológica al caso de estudio (EN_4) para la mejora de las criticidades, mediante la adopción de materias primas secundarias, según un enfoque de Inventario de Ciclo de Vida (Inventario ICE de la Universidad de Bath);

- Diseño de la hipotética deconstrucción y reconstrucción de la obra, considerando un segundo ciclo de vida, según el potencial del sistema tecnológico, al final de su vida útil, que favorezca las operaciones de reutilización, recuperación y reciclaje de los componentes (EN_5).

Tools and methods

The assessment of the sustainability of gabion architecture was carried out through the following methodological articulation:

- Definition of performance indicators for the comparative analysis:

o Thermal transmittance of the envelope system (U=W/m2K);

o GWP, Global Warming Potential (CO2eq incorporated per square metre of envelope: kgCO2eq/m2);

- Technological characterisation and calculation of energy performance (U) and GWP (LCI approach), with reference to two envelopes attributable to traditional technologies (EN_1, EN_2);

- Technological characterisation and calculation of energy performance (U) and GWP (LCI approach), with reference to the case study (EN_3);

- Design of the technological variant to the case study (EN_4) for the improvement of the criticalities, through the adoption of secondary raw materials, according to a Life Cycle Inventory approach (ICE Inventory of Bath University);

- Design of the hypothetical deconstruction and reconstruction of the work, considering a second life cycle, according to the potential of the technological system, at the end of its life, which favours operations of reuse, recovery and recycling of the components (EN_5).

Table 3: Building life cycle, from BS EN 15978:2011

Building life cycle																Supplementary information
Product			Construction		Use stage							End-of-life				Benefits and loads beyond the system boundary
A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**	**B7**	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**	**D**
Raw materials supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction / Demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Re-use Recovery Recycling-potential
Case EN_4			out of assessment													**Case EN_5**

Table 4: Envelope performance

EN_1	BRICK ENVELOPE AND EXTERNAL INSULATION							
	stratigraphy (from the inside out)	thickness	λ	R	density	envelope mass	E.C./kg	E.C./m2
		m	W/mK	m2K/W	kg/m3	kg/m2	kgCO2e/kg	kgCO2e/m2
	1/hi			0,123				
1	gypsum plaster	0,015	0,350	0,043	1800,00	27,00	0,13	3,51
2	multi-cellular brick blocks	0,250	0,250	0,250	600,00	150,00	0,24	36,00
3	expanded polystyrene insulation layer	0,100	0,040	2,500	20,00	2,00	3,29	6,58
4	lime and cement plaster	0,015	0,900	0,017	1800,00	27,00	0,13	3,51
	1/he			0,043				
	Envelope thermal resistance			2,976				
	Mass per functional unit (m2 envelope)					206,00		
	Envelope thermal transmittance (U=W/m2K)		0,336					
	Embodied CO2eq per functional unit of envelope (kgCO2eq/m2)							49,60
EN_2	DOUBLE BRICK WALL ENVELOPE							
	stratigraphy (from the inside out)	thickness	λ	R	density	envelope mass	E.C./kg	E.C./m2
		m	W/mK	m2K/W	kg/m3	kg/m2	kgCO2e/kg	kgCO2e/m2
	1/hi			0,123				
1	lime and cement plaster	0,015	1,000	0,015	1800,00	27	0,13	3,51
2	multi-hole, porous bricks (< 800kg/m3)	0,250	0,250	1,000	600,00	150	0,24	36,00
3	glass wool, untreated (20 kg/m3)	0,260	0,040	6,500	20,00	5,2	0,63	3,28
4	multi-hole, porous bricks (< 800kg/m3)	0,120	0,250	0,480	600,00	72	0,24	17,28
5	lime and cement plaster	0,017	1,000	0,017	1800,00	30,6	0,13	3,98
	1/he			0,043				
	Envelope thermal resistance			8,178				
	Mass per functional unit (m2 envelope)					284,8		
	Envelope thermal transmittance (U=W/m2K)		0,122					
	Embodied CO2eq per functional unit of envelope (kgCO2eq/m2)							64,04
EN_3	CASE STUDY ENVELOPE (DOMINUS WINERY - HERZOG & DE MEURON)							
	stratigraphy (from the inside out)	thickness	λ	R	density	envelope mass	E.C./kg	E.C./m2
		m	W/mK	m2K/W	kg/m3	kg/m2	kgCO2e/kg	kgCO2e/m2
	1/hi			0,123				
1	structural steel frame (incidence per functional unit = 30%)	0,120	60,000		7800,00	30	1,56	46,80
2	vetro temprato	0,005	0,290	0,017	2400,00	12	0,91	10,92
4	aggregates - limestone (70% of 0.4m thickness)	0,280	2,000	0,140	2200,00	616	0,08	49,28
5	dry air space (25% of 0.4m thickness)	0,100	0,026	3,846	0,00	0	0,00	0,00
6	steel gabion reinforcement (5% of 0.4m thickness)	0,020	60,000	0,000	7800,00	5	1,56	7,80
	1/he			0,043				
	Envelope thermal resistance			4,170				
	Mass per functional unit (m2 envelope)					663		
	Envelope thermal transmittance (U=W/m2K)		0,240					
	Embodied CO2eq per functional unit of envelope (kgCO2eq/m2)							114,80
EN_4	REVERSIBLE ENVELOPE (simulated case) / LCI approach (ICE Inventory - Bath University)							
	stratigraphy (from the inside out)	thickness	λ	R	density	envelope mass	E.C./kg	E.C./m2
		m	W/mK	m2K/W	kg/m3	kg/m2	kgCO2e/kg	kgCO2e/m2
	1/hi			0,123				
1	structural frame in recycled steel	0,120	60,000		7800,00	30	0,23	7,02
2	surface treated glass (medium emissive) with argon: 4/20/4 (secondary glass)	0,008	0,060	0,133	2400,00	19,2	0,59	11,33
4	aggregates - limestone (70% of 0.4m thickness)	0,280	2,000	0,140	2200,00	616	0,08	49,28
5	dry air space (25% of 0.4m thickness)	0,100	0,026	3,846	0,00	0	0,00	0,00
6	recycled steel gabion reinforcement (5% of 0.4m thickness)	0,020	60,000	0,000	7800,00	5	0,23	1,17
	1/he			0,043				
	Envelope thermal resistance			4,286				
	Mass per functional unit (m2 envelope)					670,2		
	Envelope thermal transmittance (U=W/m2K)		0,233					
	Embodied CO2eq per functional unit of envelope (kgCO2eq/m2)							68,80
EN_5	REVERSIBLE ENVELOPE (simulated case) second life cycle (C2C approach)							
	stratigraphy (from the inside out)	thickness	λ	R	density	envelope mass	E.C./kg	E.C./m2
		m	W/mK	m2K/W	kg/m3	kg/m2	kgCO2e/kg	kgCO2e/m2
	1/hi			0,123				
1	structural frame in recycled steel	0,120	60,000		7800,00	30	0,04	1,05
2	surface treated glass (medium emissive) with argon: 4/20/4 (secondary glass)	0,008	0,060	0,133	2400,00	19,2	0,30	5,66

4	aggregates - limestone (70% of 0.4m thickness)	0,280	2,000	0,140	2200,00	616	0,01	7,39
5	dry air space (25% of 0.4m thickness)	0,100	0,026	3,846	0,00	0	0,00	0,00
6	recycled steel gabion reinforcement (5% of 0.4m thickness)	0,020	60,000	0,000	7800,00	5	0,04	0,18
	1/he			0,043				
	Envelope thermal resistance			4,286				
	Mass per functional unit (m2 envelope)					670,2		
	Envelope thermal transmittance (U=W/m2K)		0,233					
	Embodied CO2eq per functional unit of envelope (kgCO2eq/m2)							14,28

Resultados y debates

Los resultados se representan en los siguientes gráficos.

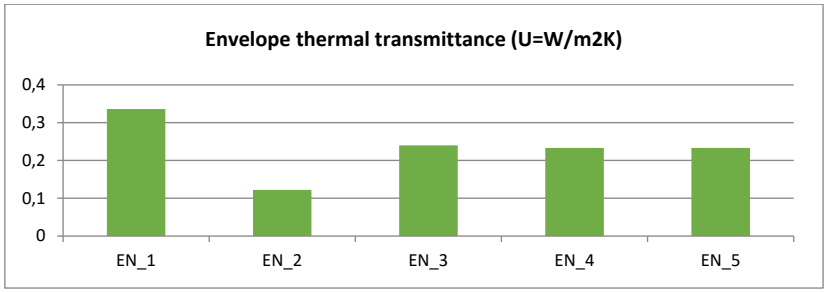


Figure 9: Comparative energy efficiency graph (U=W/m2K)

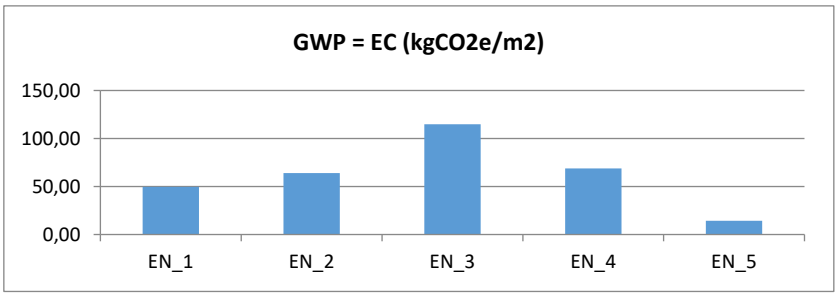


Figure 10: Comparative GWP graph (EC = kgCO2e/m2). CO2e per functional unit (m2)

Los resultados muestran las siguientes consideraciones:

- La envolvente EN_3 (caso de estudio), presenta un rendimiento energético medio, comparado con las envolventes "tradicionales" (EN_1 , EN_2); destaca en cambio un peor rendimiento en referencia al GWP (EC = kgCO2e/m2);

- La tecnología "seca" del caso de estudio (EN_3), gracias a la posibilidad de desmontar los componentes, se presta a mejoras en términos de GWP:

o Se ha supuesto que la envolvente EN_4 utiliza materiales de mejor rendimiento, en términos de sostenibilidad medioambiental (GWP), con especial referencia al uso de materias primas secundarias (vidrio y acero);

o La tecnología de la envolvente del estudio de caso (EN_3) también se presta a la posibilidad de deconstruir y reconstruir la estructura, mediante la reutilización predominante de los componentes (85% para el acero; 50% para el vidrio). Esto pone de manifiesto el potencial, inherente al diseño de gaviones, de fomentar un enfoque circular del ciclo de vida, según un enfoque C2C (de la cuna a la cuna). Asumiendo, de hecho, un segundo ciclo de vida para los materiales utilizados, el impacto derivado de la extracción y uso de las materias primas se reduce drásticamente. La simulación de la envolvente EN_5, de hecho, muestra una reducción del GWP, o de las emisiones de CO2eq, igual a cerca de -71% en comparación con la envolvente tradicional de mejor rendimiento (EN_1).

Results and Discussions

The results show the following considerations:

- EN_3 (case study) has average energy performance, compared to 'traditional' envelopes (EN_1 , EN_2); it shows worse performance in terms of GWP (EC = kgCO2e/m2);

- The 'dry' technology of the case study (EN_3), thanks to the possibility of disassembling the components, lends itself to improvements in terms of GWP:

o The EN_4 envelope was assumed to use better performing materials, from the point of view of environmental sustainability (GWP), with particular reference to the use of secondary raw materials (glass and steel);

o The envelope technology of the case study (EN_3) also lends itself to the possibility of deconstruction and reconstruction of the building, through the prevalent re-use of components (85% for steel; 50% for glass). This highlights the potential of gabion design to encourage a circular approach to the life cycle, according to a C2C (cradle to cradle) approach. By assuming a second life cycle for the materials used, the impact of extracting and using raw materials is drastically reduced. The simulation of the EN_5 building envelope shows a reduction in GWP, or CO2eq emissions, of about 71% compared to the best performing traditional building envelope (EN_1).

Conclusiones

La arquitectura en gaviones de piedra puede ser una respuesta válida, tanto funcional como estética, a la reversibilidad del sistema de envolvente. Al mismo tiempo, esta técnica resulta compatible con la reciente normativa sobre la reutilización de los escombros de la construcción. El artículo 5 de la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo establece las características que debe tener un residuo de producción para ser calificado como "subproducto" y no como "residuo". Esta directiva define como subproductos aquellas sustancias u objetos resultantes de un proceso de producción cuya finalidad principal no es la producción de dichos artículos si se cumplen las siguientes condiciones:

- es seguro que la sustancia u objeto se utilizará más;
- la sustancia u objeto puede utilizarse directamente sin más transformación que la práctica industrial normal;
- la sustancia o el artículo se produce como parte integrante de un proceso de producción;
- el uso posterior es legal, es decir, la sustancia u objeto cumple, para el uso específico, todos los requisitos pertinentes de protección del producto, la salud y el medio ambiente, y no provocará impactos generales adversos para el medio ambiente o la salud humana.

Las perspectivas de desarrollo de la investigación se dirigen a la elaboración de un ábaco tecnológico de elementos constructivos semiprefabricados, para el diseño y construcción de recintos que tienen en común el concepto de reversibilidad del proceso constructivo. El objetivo del trabajo es diseñar y construir estructuras de edificios cuyo coste final de eliminación sea cercano a cero, y cuyos componentes, clasificados como subproductos, puedan ser reutilizados, en otro sitio, sin ningún proceso de transformación y/o trituración y, por lo tanto, sin necesidad de utilizar recursos adicionales para su uso posterior.

Conclusions

Stone gabion architecture can provide a functional and aesthetic answer to the reversibility of the envelope system. At the same time, this technique proves to be compatible with the recent regulations on the re-use of building debris. Article 5 of Directive 2008/98/EC of the European Parliament establishes the characteristics that a production residue must have to be qualified as a 'by-product' and not as 'waste'. This directive defines by-products as those substances or objects resulting from a production process whose primary purpose is not the production of those articles if the following conditions are met:

- it is certain that the substance or object will be used further;
- the substance or object can be used directly without any further processing other than normal industrial practice;
- the substance or article is produced as an integral part of a production process;
- the further use is lawful, i.e. the substance or object fulfils, for the specific use, all relevant product, health and environmental protection requirements and will not lead to overall adverse environmental or human health impacts.

The research development perspectives are aimed at the preparation of a technological abacus of semi-prefabricated building elements, for the design and realisation of enclosures that have in common the concept of reversibility of the construction process. The aim of the work is to design and build building structures whose final disposal cost is close to zero, and whose components, classified as by-products, can be reused on another site without any transformation and/or crushing process and, therefore, without the need to use additional resources for their subsequent use.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Yang Na, Damgaard A., Lü F., Shao L.M., Brogaard L., He P.J., Environmental impact assessment on the construction and operation of municipal solid waste sanitary landfills in developing countries: China case study, Waste Management, DOI: 10.1016/j.wasman.2014.02.017 , ELSEVIER Volume 34, Issue 5, May 2014, Pages 929-937 (2014).
- Pousse J. F., Gabions de Lumiere. Dominus Winery, Yountville, Californie, Techniques & Architecture n. 442 (1999).
- Argenti M., Herzog & de Meuron. Dominus Winery, Materia n.31 (2000).
- Pagliari F., Villa a Garrigàs – Girona, Spagna. Boncompte & Font Arquitectes, The Plan n.16 (2006).
- Grecchi M., Scultura da abitare, Arketipo n. 15 (2007).
- Burelli A.R. , Il montaggio a secco e la componentistica di precisione, Materia n°37, Federico Motta Editore, Milano Gennaio-Aprile 2002.
- Cumo F. et al., Uso, Disuso, Riuso. Criteri e modalità per il riuso dei rifiuti come materiali per l'edilizia, FrancoAngeli, Roma (2015).
- Di Ruocco G., Oltre la facciata: l'evoluzione tecnologica dell'involucro edilizio tra tradizione e innovazione, p.175, Edizioni CUES, Salerno (2012).
- Bilanzone C. et al., Manuale Ambiente 2012, Wolters Kluwer Italia S.r.l., Milano (2012).
- Di Ruocco G., Dettagli di facciata. Tra tettonica e rivestimento dell'involucro edilizio, p.51, Edizioni CUES, Salerno (2007).
- Coppa A. (a cura di), Facciate a secco, Motta Editore, Milano (2006).
- Bressi G., I rifiuti da costruzione e demolizione: aspetti qualitativi e quantitativi, in "Riciclare per l'ambiente - Le materie prime, seconde e gli inerti in edilizia", Maggioli Editore, Rimini (1999).
- Nicosia S., Lucchese A., Rizzo G., Ercoli L., Riciclo di Rifiuti da Demolizione: un contributo all'Ecobilancio, Proc. of the IV European Waste Forum, Innovation in Waste Management, C.I.P.A. Ed., Milano, Italia, Vol.1 (2000).
- Zambelli E., Vanoncini P.A., Imperadori M., Costruzione stratificata a secco, Tecnologie edilizie innovative e metodi per la gestione del progetto, Maggioli Editore, Rimini (1998).
- AA.VV.. Bodegas Dominus en Napa Valley. In: El Croquis, Herzog & de Meuron 1993-1997. n. 84, p. 182-191. ISSN 0212-5683 (1997).
- Perriccioli M., Assemblaggio, in Vitale A. et al., Argomenti per il costruire contemporaneo, FrancoAngeli, Milano (1995).

EXCLUSION DE MATERIALES EXTRAÑOS APLICADO A LA EDIFICACION INDUSTRIAL DE CARACTER ESTRATEGICA, CRÍTICA Y/O SENSIBLE

FOREIGN MATERIAL EXCLUSION APPLIED TO STRATEGIC, CRITICAL AND/OR SENSITIVE INDUSTRIAL BUILDING CONSTRUCTION

José Antonio Cárcel-Carrasco
Ph D. Student por la Universitat Politècnica de València. Forma parte de la empresa Tecnatom S.A. en el campo de ingeniería nuclear y sistemas tecnológicos de reactores nucleares. Email: jacarcel@tecnatom.es
Juan-Manuel Sanchez-Rodriguez
Ph D. Student por la Universitat Politècnica de València Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Formando parte de la empresa Tecnológicas Eléctricas Sanes S.L. en el ámbito de la línea de Ingeniería Industrial. juasanro@gmail.com
Javier Cárcel-Carrasco
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Email: fracarc1@csa.upv.es

Resumen

El propósito de la política de "Exclusión de materiales extraños" (FME) aplicado a la edificación industrial es evitar que objetos extraños (piezas sueltas, tornillos, papel, plástico, polvo, etc.) ingresen a los sistemas y equipos, ya que estas sustancias pueden causar daños graves a maquinaria y equipo. Equipo, indisponibilidad, lesiones personales e impacto en la seguridad nuclear. Para ello, se identifica y clasifica el área de FME, se establecen buenas prácticas de FME y se equipa la fábrica con obstáculos y equipos de FME para brindar mayor seguridad y disponibilidad al centro.

Palabras Clave

Exclusión de objetos extraños, Foreing materials exclusion, industria estratégica, industria critica, industria sensible, mejora continua, entrenamiento del personal en la industria.

Abstract

The purpose of the "Foreign Materials Exclusion" (FME) policy in industry is to prevent foreign objects (loose parts, screws, paper, plastic, dust, etc.) from entering systems and equipment, as these substances can cause serious damage to machinery and equipment. Equipment, unavailability, personal injury and impact on nuclear safety. To this end, the FME area is identified and classified, good FME practices are established and the factory is equipped with FME barriers and equipment to provide increased safety and availability to the site.

Keywords

Foreing materials exclusion, strategic industry, critical industry, sensitive industry, continuous improvement, personnel training in the industry.

INTRODUCCIÓN:

La exclusión de materiales extraños (FME) es el proceso de evitar que los escombros, suciedad externos entren en áreas donde dichos escombros representan un riesgo económico o de seguridad. En resumen, puede mantener los objetos alejados de áreas donde no deberían estar. Se ha practicado ampliamente en la industria de generación de energía nuclear para mejorar la seguridad nuclear y reducir el tiempo de inactividad de las centrales eléctricas. Las operaciones de aeropuertos y aerolíneas utilizan el mismo concepto para mantener el aeropuerto limpio y evitar que entren escombros en las partes importantes de la aeronave. Durante el proyecto de construcción, los trabajadores aéreos utilizaron procedimientos y equipos de FME para proteger a los empleados que trabajaban debajo.

¿Pero que es Material Extraño? Se define como cualquier material que no es parte del sistema o componente conforme fue diseñado, como por ejemplo: suciedad, arenilla, piezas pequeñas partidas o perdidas, aceite, escoria, herramientas, trapos, productos químicos, restos de partículas de cortes y limados, compuestos para sellado de fugas, etc., y cualquier otro que pudiera afectar a la operatividad de un sistema o componente determinado. (Figura 01,02)

Es prácticamente imposible conseguir la exclusión de materiales extraños, pero gracias a las barreas FME podemos conseguir evitarlo y reducirlo en la medida de lo posible.

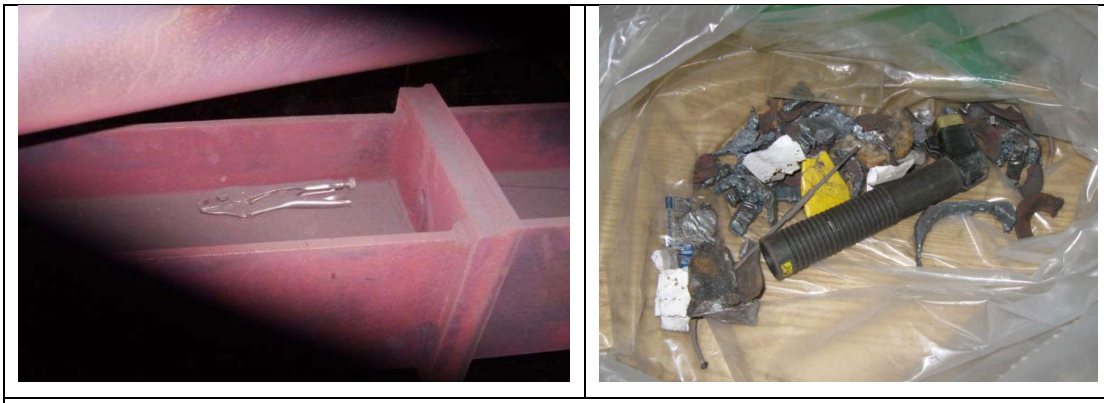


Figura 01. Materiales extraños en instalaciones industriales e edificaciones.

Pero como toda técnica tiene sus debilidades: (Figura 03)

1. Hay que tener especialmente cuidado con las prácticas de trabajo seleccionadas en actividades como corte de tuberías, soldadura, aperturas de equipos, fraguados de hormigón y/o estructuras. Y escogerlas teniendo en mente la posibilidad de intrusión de material extraño.
2. Los trabajadores reciben directrices insuficientes y no están familiarizados con las políticas para evitar la entrada de material extraño.
3. Expectativas de la dirección relacionadas con evitar la entrada de material extraño no están del todo establecida, no muy bien comunicadas o mal entendidas.



Figura 3. las debilidades del material extraño

INTRODUCTION:

Foreign material exclusion (FME) is the process of preventing external debris, dirt from entering areas where such debris poses an economic or safety risk. In short, it can keep objects out of areas where they should not be. It has been widely practiced in the nuclear power generation industry to improve nuclear safety and reduce power plant downtime. Airport and airline operations use the same concept to keep the airport clean and prevent debris from entering important aircraft parts. During the construction project, air workers used FME procedures and equipment to protect employees working underneath.

But what is Foreign Material? It is defined as any material that is not part of the system or component as designed, such as: dirt, grit, small broken or missing parts, oil, slag, tools, rags, chemicals, particulate debris from cutting and filing, leak sealing compounds, etc., and anything else that could affect the operability of a given system or component. (Figure 01, 02).

It is practically impossible to achieve the exclusion of foreign materials, but thanks to the FME barriers we can avoid it and reduce it as much as possible.



Figure 02 Workers at FME

But like any technique it has its weaknesses: (Figure 03)

1. Special care must be taken with the work practices selected in activities such as pipe cutting, welding, equipment openings, concrete and/or structural setting. And choose them keeping in mind the possibility of intrusion of foreign material.
2. Workers receive insufficient guidelines and are unfamiliar with policies to prevent foreign material entry.
3. Management expectations related to preventing foreign material entry are not fully established, not well communicated or poorly understood.

Si tan claro tenemos las debilidades las causas no se evitan por estas causas:

- Expectativas de la dirección respecto a la implantación de controles de para evitar la entrada de material extraño insuficientemente establecidas y comunicadas
- Énfasis insuficiente de los supervisores en las consideraciones y métodos relativos a evitar la entrada de material extraño durante las reuniones previas de trabajo y durante la vigilancia de las actividades
- Insuficiente formación en los métodos básicos y falta de entrenamiento específico para evitar la entrada de material extraño en el caso de actividades relacionadas con tareas específicas de los sistemas clave en la edificacion de la industria critica, sensible y/o estrategica.

DISPOSITIVO FME

Para evitar estos posibles accidentes existen los dispositivos FME son aquellos dispositivo temporal para sellar y proteger un sistema o componente abierto y de esta forma prevenir la introducción de un material extraño en el mismo.

Los dispositivos temporales FME deben cumplir los siguientes requisitos:

- Resistente o retardante del fuego.

- No estar fabricado con materiales frágiles o quebradizos.

- Resistencia al rasgado (materiales como el papel no deben ser utilizados).

- Baja probabilidad de degradarse o dañarse con el tiempo.

- Evitar que el propio dispositivo dañe o degrade al sistema o componente. (Figura 04, 05).

- No estar fabricado con materiales que puedan provocar reacciones químicas al estar en contacto con el sistema que van a proteger.

- Diseños y materiales seguros.

- Altamente visible y recuperable.



Figura 04 FME caída de herramientas

If we are so clear about the weaknesses the causes are not prevented by these causes:

- Management expectations regarding the implementation of controls to prevent foreign material entry insufficiently established and communicated.
- Insufficient emphasis by supervisors on considerations and methods relating to preventing the entry of foreign material during pre-job meetings and during monitoring of activities
- Insufficient training in basic methods and lack of specific training to prevent foreign material entry for activities related to specific tasks of key systems in critical, sensitive and/or strategic industry building.

FME DEVICE

To avoid these potential accidents, FME devices are temporary devices to seal and protect an open system or component to prevent the introduction of foreign material into the system or component.

Temporary FME devices must meet the following requirements:

- Fire resistant or fire retardant.
- Not be made of fragile or brittle materials.
- Tear resistant (materials such as paper should not be used).
- Low probability of degradation or damage over time.
- Prevent the device itself from damaging or degrading the system or component. (Figure 04, 05).
- Not be made of materials that may cause chemical reactions when in contact with the system to be protected.
- Safe designs and materials.
- Highly visible and retrievable.



Figura 05 FME tools

Dentro de los dispositivos FME podemos mencionar dos tipos:

- El primer tipo serían los dispositivos FME internos son barreras temporales instaladas en el interior de tuberías abiertas para prevenir la entrada de material extraños, como por ejemplo tapones inflables, diques, etc. (Figura 06, 07, 09, 10)



Figura 06 FME con indicación de tamaño de tubería



Figura 07 FME Tapón externo

- El segundo tipo son los dispositivos FME externos que son barreras temporales instaladas en el exterior de componentes o sistemas abiertos para prevenir la entrada de materiales extraños, como por ejemplo tapones exteriores. (Figura 08, 11)



Figura 08 FME Tapón interno

Solo dispositivos diseñados para ser utilizados como FME deben emplearse para tal efecto. No deben utilizarse como barreras FME:

- Bolsas de plástico.
- Cartones.
- Cintas.

Within the FME devices we can mention two types:

- The first type would be internal FME devices are temporary barriers installed inside open pipelines to prevent the entry of foreign material, such as inflatable plugs, dams, etc. (Figure 06, 07, 09, 10)



Figura 09 FME pipeline protection tools



Figura 10 FME barrier

- The second type are external FME devices that are temporary barriers installed on the outside of open components or systems to prevent the entry of foreign material, such as external plugs. (Figure 08, 11)



Figura 11 FME Inner plug

Only devices designed to be used as FME should be used for this purpose. They should not be used as FME barriers:

- Plastic bags.
- Cartons.
- Tapes.

ACTIVIDADES QUE PRECISAN PROTECCIÓN FME

En la práctica se dan una serie de actividades en las que es preciso y se debe aplicar algún grado de control FME.

El supervisor del trabajo será el encargado de determinar si es necesario o no establecer un FME. Algunos trabajos que precisan protección FME:

- Tuberías o tubing que han sido desconectados, requieren un dispositivo FME para prever la entrada de un FM al sistema.
- Equipos que son almacenados con partes abiertas (nuevos o retirados para reutilización), también deben ser protegidos con algún dispositivo apropiado de FME.
- Los armarios eléctricos sin las protecciones en servicio.
- Venteos y drenajes que queden abiertos y desatendidos (siempre que éstos no estén conducidos a un sumidero) precisarán algún tipo de dispositivo FME

CONCLUSIONES DE LA ELIMINACIÓN DE CUERPOS EXTRAÑOS

Tras las nuevas actualizaciones, mejoras de sistemas en Edificios e industrias, nos hemos dado cuenta que el error humana nos puede ocasionar perdidas económicas y personales, es por ello que utilizando esta técnica haremos que se garantice una mejor calidad y gestión del trabajo de nueva construcción así como de mejoras en las construcciones ya industrializadas.

Formando a toda la dirección y los empleados del lugar con estas sencillas prácticas se conseguirán mejores objetivos y se alcanzaran los máximos estandartes de calidad.

ACTIVITIES REQUIRING EMF PROTECTION

In practice there are a number of activities where some degree of WEF control is required and should be applied.

The job supervisor will be responsible for determining whether or not FME is necessary. Some jobs that require FME protection:

- Piping or tubing that has been disconnected, requiring an FME device to provide for FM entry into the system.
- Equipment that is stored with open parts (new or removed for reuse) should also be protected with an appropriate FME device.
- Electrical cabinets without in-service protections.
- Vents and drains that are left open and unattended (as long as they are not routed to a sump) will require some type of FME device.

FOREIGN BODY REMOVAL FINDINGS

After the new updates, improvements of systems in buildings and industries, we have realized that human error can cause us economic and personal losses, that is why using this technique we will ensure a better quality and management of new construction work as well as improvements in the already industrialized constructions.

Training all the management and employees of the site with these simple practices will achieve better objectives and reach the highest standards of quality.

BIBLIOGRAFÍA / BIBLIOGRAPHY

Perez Moreno, J., & Folguera Mateo, M. (2015). Foreign material exclusion program. Nuclear Espana (1996), 364, 45-48.

Urjan, D. (2008). Foreign Material Exclusion Program at CNE Cernavoda Nuclear Generating Station.

YU, Tengyu; YIN, Xiangping. Discussion on the foreign material exclusion management during the construction of nuclear power plants. Nuclear Safety (Beijing), 2016, vol. 15, no 2, p. 29-34, 51.

Singh, A. N. (2009). Foreign material exclusion (FME) failures of large turbo alternators (Doctoral dissertation).

Singh, Amesh Narain. Foreign material exclusion (FME) failures of large turbo alternators. Diss. 2009.

Harbour, J. R., & Plodinec, M. J. (1990). Exclusion of foreign materials from DWPF canistered waste forms: Compliance activities for the WAPS (No. WSRC-MS-90-254; CONF-910270-75). Westinghouse Savannah River Co., Aiken, SC (United States).

Cárcel, J. (2010). Aspectos estratégicos del mantenimiento industrial relativos a la eficiencia energética, Articulo 1er Congreso de dirección de operaciones en la empresa, 25 y 26 de Junio, Madrid 2010.

Olarte, W., Botero, M., & Cañón, B. (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria.Scientia Et Technica,2(45), 223-226.

CAMBIO CLIMÁTICO Y ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

CLIMATE CHANGE AND BIOCLIMATIC ARCHITECTURE

Mercedes Almenar-Muñoz
Investigadora y Profesora Dra Departamento de Urbanismo. Universitat Politècnica de València, España. meralmuo@urb.upv.es
Researcher and PhD. Professor at the Department of Urbanism. Polytechnic University of Valencia, Spain.

Resumen

Este trabajo aborda los fundamentos teóricos de la arquitectura sostenible, en especial la bioclimática, y sus objetivos principales. En el proceso de construcción se deben priorizar aquellos sistemas que consuman menos recursos o energía, tendentes a la simplificación.

El cambio climático es un problema ambiental a escala global, acelerado por la acción del ser humano y causante de una serie de catástrofes naturales, algunas irreversibles. El sector de la edificación, tanto la construcción, como el mantenimiento, la industria de los materiales o simplemente el uso de los edificios, es el que más está contribuyendo al incremento de la temperatura del planeta. Estamos también ante un cambio de concienciación social hacia un desarrollo sostenible de los recursos, encaminado en mejorar la tecnología y el diseño que contribuya a una construcción sostenible.

En resumen, la construcción de edificios está especialmente implicada en las emisiones de dióxido de carbono, y es necesario que su diseño y construcción sea un factor esencial en la ofensiva por mitigar los efectos del cambio climático. La energía consumida durante la vida útil de un edificio será la mínima posible en relación a un diseño bioclimático lo más eficaz posible.

Palabras Clave
arquitectura sostenible, arquitectura bioclimática, arquitectura ecológica

Abstract

This work addresses the theoretical foundations of sustainable architecture, especially bioclimates, and its main objectives. The construction process must be prioritizing those systems that consume less resources or energy, aimed at simplification.

Climate change is an environmental problem on a global scale, accelerated or by the action of the human being and cause you a series of natural disasters, some irreversible. The building sector, both construction, maintenance, materials industry or simply the use of buildings, is the one that is contributing the most to the increase in the temperature of the planet. We are also facing a change of social conscientiousness towards sustainable development of resources, aimed at improving technology and design that contributes to an sustainable construction.

In short, building construction is particularly involved in carbon dioxide emissions, and its design and construction needs to be an essential factor in the offensive to mitigate the effects of climate change. The energy consumed over the life of a building will be as effective as possible in relation to its bioclimatic design.

Keywords
sustainable architecture, bioclimatic architecture, ecological architecture

Fundamentos teóricos de la arquitectura sostenible

En el siglo XXI el concepto de arquitectura bioclimática es conocido, al contrario que a principios del siglo XX. En los años veinte del siglo pasado, uno de los primeros maestros que reinventaron la arquitectura poniendo en práctica los conceptos de un nuevo arte basado en la relación entre el ser humano y la naturaleza fue el reconocido arquitecto francés-suizo Le Corbusier[1].

La arquitectura sostenible es un concepto amplio, por lo que definir el concepto de Arquitectura Sostenible es una tarea harto compleja, ya que son bastantes factores los que influyen y se deben cumplir para que una arquitectura sea sostenible o ecológica. De todas las definiciones posibles, la más holística es la siguiente: Una verdadera arquitectura sostenible es aquella que satisface las necesidades de sus ocupantes, en cualquier momento y lugar, en perfecto equilibrio con el ecosistema natural, y sin alterarlo de forma significativa. Por lo tanto, esta arquitectura implica un compromiso con el desarrollo humano y la estabilidad social, utilizando estrategias arquitectónicas con el fin de optimizar recursos y materiales; disminuir el consumo energético, promover la energía renovable, reducir al máximo el mantenimiento, la funcionalidad y el coste de los edificios; y mejorar la calidad de vidas de los ocupantes[2].

Podemos afirmar que los principios básicos de la arquitectura sostenible son los siguientes:

1. Optimización de recursos y materiales

Será de buena práctica la utilización de materiales duraderos, sobre todo los que formen parte de ciertos elementos del edificio, como cimentación, estructura o cubierta, ya que será costoso repararlos o sustituirlos. Al igual que el uso de materiales recuperados o reciclados, ya que tendrá una mayor optimización un material conforme más usos se le dé o más veces se recupere y más se alargue su vida útil, hasta que no se le pueda dar más uso y se deseche o se recicle.

Un material puede ser óptimo por su capacidad de ser reparado, más que por su durabilidad, depende de su función, de la energía necesaria para repararlo o sustituirlo y del nivel de residuos que se generarían.

2. Menor consumo energético posible

Para conseguir un menor consumo energético en la construcción y en la vida de los edificios son varias acciones las que hay que llevar a cabo, que comienzan desde el inicio del proyecto, ya que un buen diseño es clave para obtener un edificio de bajo consumo.

A la hora de elegir los materiales, también es importante tener en cuenta la energía utilizada en la obtención de los mismos, ya sea la de fabricación o la de transporte. Será de buena práctica utilizar materiales lo más naturales posibles y lo más cercanos posible a la construcción.

En el proceso constructivo se debe de dar prioridad a aquellos sistemas que necesiten menos recursos o energía, es decir a cuanto menos complejidad tengan[3]. La energía consumida durante la vida útil de un edificio será la mínima posible en base a un diseño bioclimático eficaz, siendo el bioclimatísmo[4] uno de los campos de referencia de la arquitectura sostenible.

3. Fomento de fuentes energéticas renovables

Aquella que obtenemos de energías naturales y es capaz de regenerarse por medios naturales.

4. Coste reducido de mantenimiento y de construcción

Una arquitectura sostenible *per se* no es más cara que una convencional, ya que se dan varias variables que pueden abaratar los costes. Por ejemplo, el uso de materiales durables para elementos que deben sustituirse antes de que devengan inservibles, ya sea por cambios de preferencias o por renovación, en este caso pueden emplearse materiales menos durables, que han consumido menos energía en su fabricación y que su coste es menor.

Theoretical foundations of sustentable architecture

In the 21st century the concept of bioclimatic architecture is known, unlike in the early twentieth century. In the twenties of the last century, one of the first masters to reinvent architecture by putting

[1] REQUENA-RUIZ, I., *Bioclimatismo en la arquitectura de Le Corbusier: El Palacio de los Hilanderos*, Informes De La Construcción, 64(528), 549–562. https://doi.org/10.3989/ic.11.121. 2012.

[2] DE GARRIDO, L. *Manual de Arquitectura Avanzada.* Diseño Editorial, Marzo 2017.

[3] JANDA, K.B., *Buildings don't use energy: people do.* Architectural Science Review. Vol. 54 No. 1, pp.15-22. 2011.

[4] COMISIÓN EUROPEA, *Marco sobre clima y energía para 2030,* disponible en http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030/index_es. 2018.

into practice the concepts of a new art based on the relationship between human beings and nature was the renowned French-Swiss architect Le Corbusier.

Sustainable architecture is a broad concept, so defining the concept of Sustainable Architecture is a complex task, as there are quite a few factors that influence and must be met for a factory to be sustainable or ecological. Of all possible definitions, the most holistic is as follows: A true sustainable architecture is one that meets the needs of its occupants, anytime, anywhere, in perfect balance with the natural ecosystem, and without significantly altering it. Therefore, this architecture implies a commitment to human development and social stability, using architectural strategies to optimize resources and materials; reduce energy consumption, promote renewable energy, minimize the maintenance, functionality, and cost of buildings; and improve the quality of life of occupants.5

We can say that the basic principles of sustainable architecture are as follows:

1. Optimizing resources and materials

The use of durable materials, especially those that are part of certain elements of the building, such as foundation, structure, or roofing, will be of good practice, as it will be costly to repair or replace them. Like the use of recovered or recycled materials, as it will have greater optimization a material as more uses is given or more times it is recovered and its service life is longer, until it cannot be given more use and is discarded or recycled.

A material can be optimal because of its ability to be repaired, without its durability, depends on its function, the energy needed to repair or replace it and the level of waste that would be generated.

2. Lowest possible energy consumption

To achieve a lower energy consumption in the construction and life of the buildings there are several actions that must be carried out, starting from the beginning of the project, since a good design is key to obtaining a low consumption building.

When choosing materials, it is also important to consider the energy used in obtaining them, either manufacturing or transport. It will be good practice to use materials as natural as possible and as close as possible to construction.

In the construction process, priority should be given to those systems that need less resources or energy, i.e., the less complexity they have. The energy consumed over the life of a building will be as minimal as possible based on an effective bioclimatic design, with bioclimate being one of the reference fields of sustainable architecture.

3. Promoting renewable energy sources

The one that we obtain from natural energies and can regenerate by natural means.

4. Reduced maintenance and construction costs

A sustainable architecture per se is no more expensive than a conventional one, since they give varies to variables that can lower costs. For example, the use of durable materials for items that must be replaced before they become useless, either by preference changes or by renewal, in this case fewer durable materials may be used, which has consumed less energy in their manufacture and that their cost is lower.

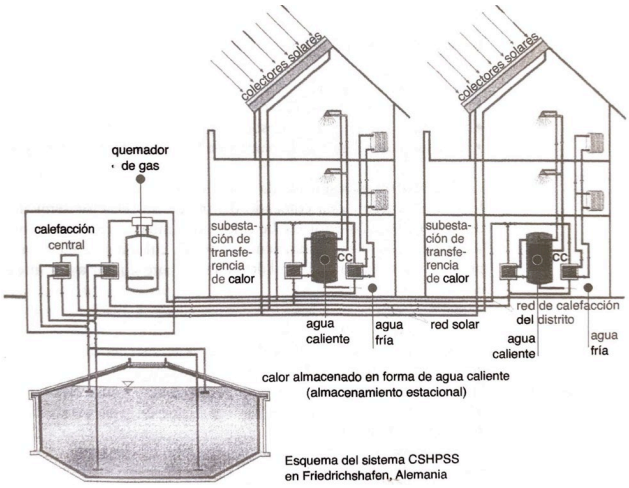


Imagen 1. Esquema del sistema Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage (CSHPSS)[6].

Image 1. Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage (CSHPSS) system scheme.

[5] DE GARRIDO, L. *Manual de Arquitectura Avanzada.* Editorial Design, 2017.

[6] SMITH, P.F., *La arquitectura en un clima de cambio*, Editorial Reverté, Barcelona, 2016.

Arquitectura bioclimática: Principios de un diseño pasivo

Con un correcto diseño bioclimático se obtiene un consumo mínimo de energía del edificio, llegando en algunos casos a que, sin necesidad de aparatos, el edificio sea capaz de autorregularse térmicamente[7]. Se deberá tener en cuenta el entorno, el clima, la temperatura, humedad, precipitación pluvial y el viento[8]. Son principios de un diseño pasivo:

1. Orientación

Hacia el ecuador para aprovechar el mayor asoleamiento cuando se necesite calefacción, con sus protecciones solares para verano[9].

2. Zonificación de espacios internos

Distribución de las estancias teniendo en cuenta las necesidades.

3. Aislamiento

Un correcto aislamiento dotará al edificio de mejores condiciones económicas, ecológicas y de bienestar. Es de buena práctica utilizar materiales derivados de materias primas recicladas u orgánicas y que no consuman excesiva energía en su fase de producción. Existen también aislantes orgánicos naturales como: celulosa, lana de oveja, lino, paja…

El acristalamiento de un edificio sigue siendo el punto más débil de su envolvente térmica, quizás por ello existen grandes avances tecnológicos respecto a la eficiencia energética del acristalamiento.

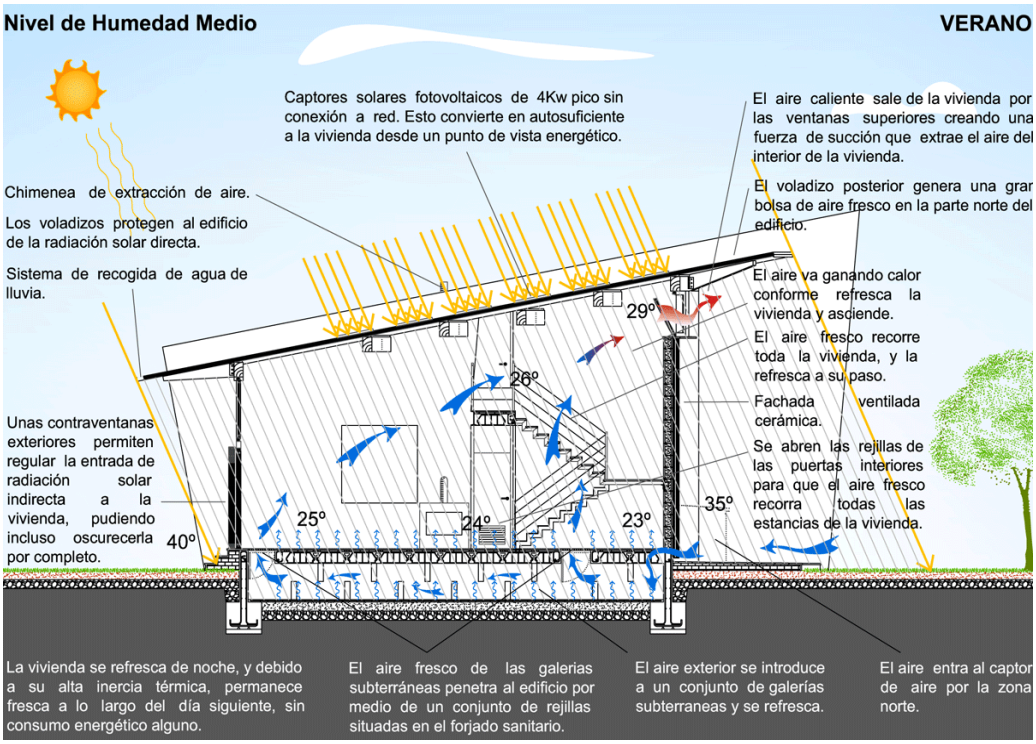


Imagen 2. Esquema bioclimático Verano, Ramat Eco-House[10].

Image 2. Bioclimatic Scheme Summer, Ramat Eco-House.

[7] WASSOUF, M., *De la Casa Pasiva al Estándar PASSIVHAUS*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2014, p-16.

[8] SERRA; R., *Arquitectura y Climas*, Ed. Gustavo Gili, Barcelona (España), 2013.

[9] GÓMEZ, A., *Sol y Arquitectura*, Universidad Ricardo Palma, Perú, 2018, p. 14.

[10] DE GARRIDO, L,. *Esquema bioclimático Verano, Ramat Eco-House*, disponible en: http://luisdegarrido.com. 2011.

4. Efecto invernadero

Ganancia directa. Superficies vidriadas para almacenar calor con adecuadas protecciones para evitar los sobrecalentamientos, como celosías, contraventanas, aleros profundos, vidrios reflectantes o absorbentes.

5. Masa térmica

Ganancia indirecta. Las superficies tendrán una mayor capacidad de acumular calor o fresco (inercia térmica) conforme mayor sea su masa térmica, para después transmitir dicho calor o fresco al interior del edificio lentamente. De esta manera en verano durante el día las superficies transmiten al interior el fresco que han acumulado por la noche. Otra solución ecológica y sostenible en gran desarrollo para aumentar la masa térmica son las cubiertas y fachadas verdes.

6. Ventilación

Refresca los edificios en verano y renueva el aire del interior. La ventilación natural se produce por el principio de flotabilidad, el aire caliente tiene la tendencia de subir, mientras que el aire frio de bajar, para que la ventilación sea eficiente debe cumplir varios requisitos, entre los cuales: tener un flujo de aire suficiente, aperturas suficientemente grandes, que la profundidad del edificio no sea cinco veces la distancia del suelo al techo… (esto último se podría solucionar con patios interiores intermedios o captadores de viento intermedios). Existen distintos sistemas de ventilación natural como la ventilación cruzada, captores de viento o chimeneas térmicas.

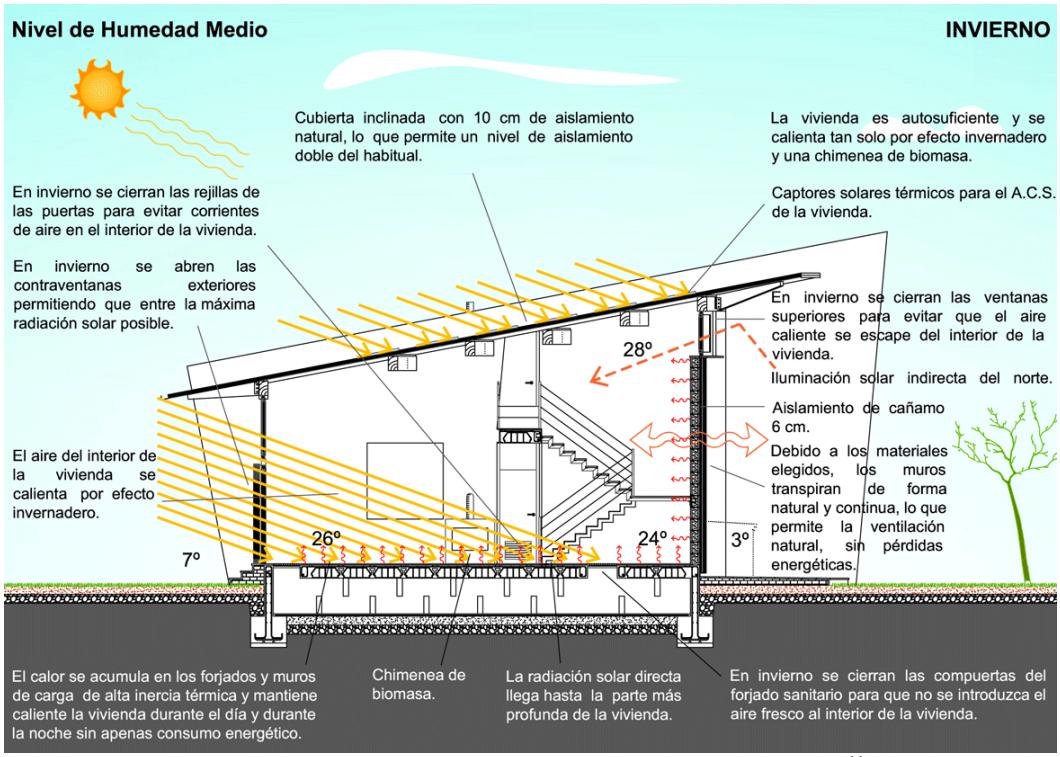


Imagen 3. Esquema bioclimático Invierno, Ramat Eco-House[11].

Image 3. Bioclimatic Scheme Winter, Ramat Eco-House.

[11] DE GARRIDO, L,. *Esquema bioclimático Invierno, Ramat Eco-House*, disponible en: http://luisdegarrido.com. 2011.

Bioclimatic Architecture. Principles of passive design

With a correct bioclimatic design, a minimum energy consumption of the building is obtained, in some cases reaching that, without the need for artifacts, the building can be thermally self-regulated. The environment, climate, temperature, humidity, rainfall, and wind should be12 considered. They are principles of passive design:

1. *Orientation*

Towards the equator to take advantage of the greatest sunbathing when heating is needed, with its sun protections for13summer.

2. *Zoning of internal spaces*

Distribution of rooms considering the needs.

3. *Insulation*

Proper insulation will give the building better economic, ecological and welfare conditions. It is good practice to use materials derived from recycled or organic raw materials that do not consume excessive energy in their production phase. There are also natural organic insulators such as: cellulose, sheep's wool, linen, straw...

The glazing of a building remains the weakest point of its thermal envelope, perhaps that is why there are great technological advances regarding the energy efficiency of glazing.

4. *Greenhouse*

Direct gain. Glazed surfaces to store heat with adequate protections to prevent overheating, such as lattice, shutters, deep eaves, reflective or absorbent glass.

5. *Thermal mass*

Indirect gain. Surfaces will have a greater ability to accumulate heat or cool (thermal inertia) as their thermal mass is increased, and then transmit such heat or cool to the interior of the building slowly. In this way in summer during the day the surfaces transmit to the interior the fresco that they have accumulated at night. Another ecological and sustainable solution in great development to increase thermal mass are green roofs and facades.

6. *Ventilation*

Refreshes buildings in summer and renews indoor air. Natural ventilation is produced by the principle of buoyancy, hot air tends to rise, while cold air from low, for ventilation to be efficient must meet several requirements, among which: having sufficient airflow, large enough openings, that the depth of the building is not five times the distance from the floor to the ceiling... (the latter could be solved with intermediate interior patios or intermediate wind catchers). There are different natural ventilation systems such as cross ventilation, wind captors or thermal chimneys.

Levels

Es el marco informativo de referencia que ayuda a mejorar la sostenibilidad de los edificios, desarrollado por la UE y de carácter voluntario. Proporciona un conjunto de indicadores y métricas para valorar el rendimiento de un edificio en materia de sostenibilidad, a lo largo de la vida útil del mismo. El conocimiento sobre los recursos eficientes ayuda a tomar mejores decisiones por parte de los agentes de la construcción[14].

El diseño y construcción de edificios sostenibles consigue ahorrar en energía, agua y materiales, a la vez que los edificios son más saludables y confortables para sus ocupantes[15]. Se definen 3 niveles de valoración:

- Nivel 1: Evaluación común, es la más simple y accesible. Puede utilizarse directamente por profesionales, pero también puede adaptarse a esquemas y ser usados por no profesionales.
- Nivel 2: Evaluación por comparación, mediante edificios funcionalmente equivalentes.

[12]WASSOUF, M., *From Passive House to PASSIVHAUS Standard,* Gustavo Gili PublishingHouse, Barcelona, 2014, p-16.

[13]GOMEZ, A., *Sol y Arquitectura*, Ricardo Palma University, Perú, 2018, p. 14.

[14] Resume Level(s) – *A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings.*2017. Disponible en: https://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/170816_Levels_EU_framework_of_building_indicators_Parts.pdf

[15] WILSON; A., THORNE; J., & MORRILL; J., *Consumer Guide to Home Energy Savings*, Available from the American Council for an-Energy-Efficient Economy, Washington, DC, 202-429-0193, or at www.aceee.org.

• Nivel 3: Evaluación óptima, usada por profesionales que buscan un modelo más detallado y una mejora del rendimiento.

Levels

It is the information framework of reference that helps to improve the sustainability of buildings, developed by the EU and on a voluntary basis. It provides a set of indicators and metrics to assess a building's sustainability performance over the life of a building. Knowledge of efficient resources helps make better decisions from construction agents[16].

The design and construction of sustainable buildings saves on energy, water, and materials, while buildings are healthier and more comfortable for their occupants. 3 valuation levels are given:

•Level 1: Common evaluation, is the simplest and most accessible. It can be used directly by professionals but can also be adapted to schematics and used by non-professionals.

•Level 2: Evaluation by comparison, using functionally equivalent buildings.

•Level 3: Optimal evaluation, used by professionals looking for a more detailed model and performance improvement.

Edificios sostenibles/Sustainable buildings



Imagen 4. Gaia 5. Arquitecto DE GARRIDO. 2010. Jávea (Alicante) Sp.

Image 4. Gaia 5. Architect DE GARRIDO. 2010. Jávea (Alicante), Sp.



Imagen 5. Proyecto de un barrio de viviendas autosuficientes. Arquitecto GUALLART.V. Beijing (China).2020.

Image 5. Project a self-sufficient housing neighbourhood. Architect GUALLART.V. Beijing (China).2020.

[16]Summary Level(s) – *A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings.* 2017. Available at: https://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/170816_Levels_EU_framework_of_building_indicators_Parts.pdf



Imagen 6. Planta Silvana Eco-House. Arquitecto DE GARRIDO. 2018. Moncada (Valencia) Sp.
Image 6. Silvana Eco-HousePlant. Architect DE GARRIDO. 2018. Moncada (Valencia) Sp.



Imagen 7. Primera vivienda de madera autosuficiente. Arquitecto GUALLART.V. Barcelona Sp.2010.
Image 7. Primera self-sufficient wooden house. Architect GUALLART V. Barcelona Sp.2010.

Conclusiones

El diseño bioclimático es un buen ejemplo de arquitectura avanzada en la aplicación de las actuaciones bioclimáticas más comunes, que deberían adoptarse como imprescindibles en el proceso constructivo con el objetivo del aprovechamiento óptimo de los recursos naturales, y al mismo tiempo fomentar la reducción de la demanda energética y los efectos negativos sobre el medio ambiente. Por ello, es responsabilidad de todos los agentes intervinientes en la edificación replantearse el concepto de arquitectura, y saber interrelacionar medio ambiente y soluciones constructivas.

Es evidente que el futuro de los sistemas constructivos está completamente orientado hacia sistemas de arquitectura renovable o sostenible, basada en optimizar el potencial de los recursos naturales que colaboren en la conservación y respeto al medio ambiente.

La edificación bioclimática, sobre la base de la sostenibilidad, conlleva desde el aprovechamiento sostenible del patrimonio natural hasta su eficiencia en todo el ciclo de vida. Mediante la incorporación de los recursos naturales se pretende garantizar no sólo una reducción del consumo energético de la construcción, sino, además, mejorar la calidad de vida de las personas, desde

el punto de vista del confort y bienestar dentro de las mismas, sin recurrir a la necesidad de aislarlas de las condiciones naturales del medio físico[17].

Además, se ha demostrado que la aplicación de diseños bioclimáticos no solo es relevante en la tipología residencial, sino que tiene vital importancia sobre el parque de edificios de uso industrial, comercial, edificios públicos y de cualquier tipo de edificaciones, que debido a las técnicas constructivas empleadas y a los distintos procesos productivos, generan problemas de contaminación atmosférica y de residuos, entre otros problemas ambientales.

En resumen, la arquitectura bioclimática es una eficaz alternativa, partiendo de una gestión medioambiental planificada, donde el emplazamiento y condiciones lo permitan, para contribuir a mitigar y frenar los impactos negativos de las construcciones sobre el cambio climático y el medio ambiente

Conclusions

Bioclimatic design is a good example of advanced architecture in the implementation of the most common bioclimatic actions, which should be adopted as essential in the construction process with the aim of the optimal use of natural resources, while encouraging the reduction of energy demand and negative effects on the environment. It is therefore the responsibility of all the agents involved in the building to rethink the concept of architecture, and to know how to interrelate the environment and constructive solutions.

It´s clear that the future of construction systems is completely oriented towards renewable or sustainable architecture systems, based on optimizing the potential of natural resources that contribute in terms of conservation and respect for the environment.

Bioclimatic building, based on sustainability, ranges from the sustainable use of natural heritage to its efficiency throughout the life cycle. The incorporation of natural resources intended to ensure not only a reduction in the energy consumption of the construction, but also improves the quality of life of people, from the point of view of comfort and well-being within them, without resorting to the need to isolate it from the natural conditions of the physical environment.

In addition, it has been shown that the application of bioclimatic design s is not only relevant in residential typology but is vitally important on the park of buildings for industrial, commercial use, public buildings and any type of buildings, which due to the construction techniques used and the different production processes, generate problems of air pollution and waste, among other environmental problems.

In short, bioclimatic architecture is an effective alternative, based on planned environmental management, where the site and conditions permit, to help mitigate and curb the negative impacts of buildings on climate change and the environment.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

ALMENAR-MUÑOZ, M. *Energy efficiency and renewal of buildings: The new european strategy* Research in Building Engineering EXCO'19. edita.me. 2019.

COMISIÓN EUROPEA, *Marco sobre clima y energía para 2030,* disponible en http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030/index_es. 2018.

DE GARRIDO, L,. *Esquema bioclimático Invierno, Ramat Eco-House*, disponible en: http://luisdegarrido.com. 2011.

DE GARRIDO, L,. *Esquema bioclimático Verano, Ramat Eco-House*, disponible en: http://luisdegarrido.com. 2011.

DE GARRIDO, L., *Manual de Arquitectura Avanzada.* Diseño Editorial, 2017.

[17]ALMENAR-MUÑOZ, M. *Energy efficiency and renewal of buildings: The new european strategy* Research in Building Engineering EXCO'19. edita.me. 2019.

GÓMEZ, A., *Sol y Arquitectura*, Universidad Ricardo Palma, Perú, 2018.

JANDA, K.B., *Buildings don't use energy: people do.* Architectural Science Review. Vol. 54 No. 1, 2011.

REQUENA-RUIZ, I., *Bioclimatísmo en la arquitectura de Le Corbusier: El Palacio de los Hilanderos*, Informes De La Construcción, 64(528), 549–562. https://doi.org/10.3989/ic.11.121. 2012.

RESUMEN LEVEl(s), *A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings.* https://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/170816_Levels_EU_framework_of_building_indicators Parts.pdf., 2017.

SERRA; R., *Arquitectura y Climas*, Ed. Gustavo Gili, Barcelona (España), 2013.

SMITH, P.F., *La arquitectura en un clima de cambio*, Editorial Reverté, Barcelona, 2016.

WASSOUF, M., *De la Casa Pasiva al Estándar PASSIVHAUS*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2014.

WILSON; A., THORNE; J., & MORRILL; J., *Consumer Guide to Home Energy Savings*, Available from the American Council for an-Energy-Efficient Economy, Washington, DC, 202-429-0193, or at www.aceee.org.

STUDIO ENERGETICO DI UN EDIFICIO IN MURATURA PROGETTATO IN BIM NEL CENTRO STORICO DI AVERSA

ENERGY STUDY OF A MASONRY BUILDING DESIGNED IN BIM IN THE HISTORICAL CENTER OF AVERSA

Imperiale Teresa D'Angiolella
Ingegnere Civile, Italia. E-mail: imperialeteresad@gmail.com / Civil Engineer, Italy. E-mail: imperialeteresad@gmail.com

Maria Rita Golia
Ingegnere Civile, Italia. E-mail: mariarita8v@gmail.com / Civil Engineer, Italy. E-mail: mariarita8v@gmail.com

Luis M. Palmero Iglesias
PhD.; Professore presso il Dipartimento di Costruzioni Architettoniche; Università Politècnica di València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spagna; E-mail: lpalmero@csa.upv.es
PhD.; Associate Professor in the Department of Architectural Constructions; Polytechnic School of València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain; E-mail: lpalmero@csa.upv.es

Abstract

L'unità immobliare descritta nel presente articolo è situata nel centro storico della città di Aversa (Campania, Italia) e fa parte di un complesso edilizio più vasto dotato di una struttura in muratura, risalente al 1950 circa. Attualmente l'edificio versa in stato di fatiscenza e l'intenzione è di ricavarne un'unità abitativa.

A tal fine, è stata svolta in via preliminare un'analisi dei materiali e delle tecniche di costruzione, condotta nel rispetto dei vincoli e nella salvaguardia del patrimonio storico. Si è ipotizzata, quindi, la distribuzione interna degli spazi, degli infissi e delle altre caratteristiche dell'unità abitativa, riportando la struttura in BIM in modo da consentire l'interoperabilità tra il programma di disegno ed il programma di calcolo usato per determinare la classificazione energetica.

Lo scopo del lavoro è predisporre un'analisi energetica che consenta di migliorare la progettazione e la realizzazione dell'edificio, sì da evidenziare quanto importanti siano gli interventi migliorativi al fine di ottimizzare i consumi, ridurre l'impatto ambientale ed influire positivamente sulla classe energetica.

The building described in this paper is in the Old Town of the city of Aversa (Campania, Italy) and is part of a larger building complex with a masonry structure, dating back to about 1950. Currently, the building is in ruin and the aim is to obtain a residential unit.

For this purpose, it has been carried out a preliminary analysis of the materials and construction techniques, conducted in compliance with the legal constraints and in the preservation of historical heritage. The internal distribution of spaces, fixtures and other features of the housing unit has been assumed and then the structure has been reported in BIM in order to allow the interoperability between the drawing software and the calculation program used to determine the energy classification.

The aim of the work is to prepare an energy analysis that allows improving the design and construction of the building, so as to show how important the improvements are in order to optimize consumption, reduce environmental impact and positively affect the energy class.

Keywords

Aversa, BIM, Classificazione energetica, Edificio storico, Interventi migliorativi

Aversa, BIM, Energetic classification, Historical building, Improvements

Introduzione

Contesto storico e normativo di Aversa

La città di Aversa, in provincia di Caserta, rappresenta uno dei centri di maggiore interesse storico e architettonico dell'intera pianura campana. La sua fondazione si perde nella notte dei tempi, avendo la città origini assai remote, così come si deduce dal nome dell'antico villaggio con cui era conosciuta, "*Sactum Paulum ad Averze"*, in onore di *S. Paolo Apostolo*, suo attuale patrono.



Immagine 1. Mappa di Aversa
Image 1. Historical map of Aversa

Agli inizi del 1030, Sergio IV, duca di Napoli, assegnò il territorio di Aversa in feudo a Rainulfo Drengot, capo dei Normanni, come ricompensa per l'aiuto da lui fornito nella riconquista del ducato napoletano. Quest'ultimo cinse di mura la città, rendendola di fatto la prima contea indipendente di Italia.

Proprio le sue antichissime origini distinguono Aversa dalle altre città, rendendola unica nel suo genere, con un nucleo a pianta radiocentrica di cui non ci sono coevi riscontri in Campania né in ambito nazionale. Il centro è formato da strade anulari e radiali che partono dalla cattedrale di San Paolo, dove con molta probabilità sorgeva un tempo il castello di Rainulfo Drengot, di cui non resta ormai traccia. Durante il XIV secolo, la città ospitò la corte angioina, fu poi occupata da Attendolo Sforza per conto di Ludovico d'Angiò e nel 1440 passò nelle mani di Alfonso I d'Aragona.

Successivamente, tra il XVI e il XVII secolo, fu realizzato uno dei più importanti quartieri di Aversa, il Lemitone, con strade che si incrociano ad angolo retto, tagliate da una diagonale, il cui perimetro ripropone lo schema dei celebri quartieri spagnoli di Napoli, fatti realizzare oltre mezzo secolo prima dal Vicerè don Pedro de Toledo.

Proprio in virtù della sua ricca storia, la città presenta una stratificazione urbanistica consistente, ancora oggi oggetto di studio.

Semplificando, però, si può affermare che l'abitato di Aversa presenta due differenti fasi di sviluppo:

1) il nucleo normanno di fondazione (XI secolo), a pianta radiocentrica;

2) la struttura ortogonale del quartiere Lemitone (XVII secolo), posto a sud-est del nucleo primitivo.

Proprio al limite del centro storico è sito l'edificio in muratura oggetto di studio, individuabile nel **Piano di recupero del centro storico** di Aversa come "zona soggetta al Restauro" (Tav. P2.b, **PRCS**) e ricadente nelle "Aree di particolare interesse culturale" - "A2" (Tav P4.3, **PRG2001**), dove con la lettera "A" si fa riferimento al Nucleo Normanno.



Immagine 2. Vista satellitare
Image 2. Satellite view



Immagine 3. Stralcio PRG
Image 3. PRG excerpt

Introduction

Historical and normative context of Aversa

The city of Aversa, in the Povince of Caserta, represents one of the most interesting historical and architectural centers of the whole plain of Campania. Its foundation is lost in the mists of time; the city has got ancient origins, as it can be deduced from the name of the ancient village with which it was known, "Sanctum Paulum ad Averze", in honor of St. Paul the Apostle, its patron saint.

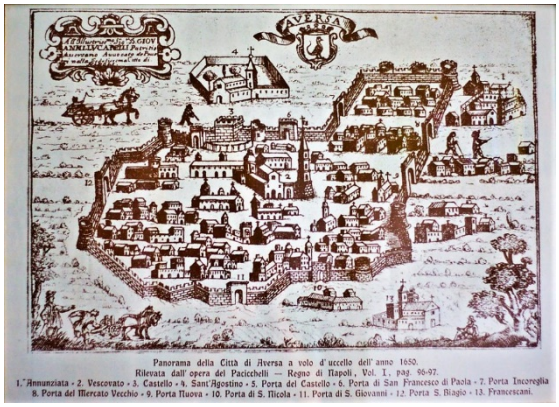


Immagine 2. Mappa di Aversa
Image 1. Historical map of Aversa

At the beginning of 1030, Sergio IV, Duke of Naples, assigned the territory of Aversa in fief to Rainulfo Drengot, leader of the Normans, in reward for the help he offered to reconquer the Neapolitan dukedom. Hence Rainulfo Drengot built the perimetral walls, making Aversa the first independent county in Italy.

Its ancient origins make Aversa one of a kind, with a radiocentric core that has no equal in Campania nor in the national reality. The center is composed of annular and radial streets that start from the cathedral of St. Paul, where once Rainulfo Drengot's castle probably stood, of which no trace now remains. During the 14th century, the city hosted the Angevin court, then it was occupied by Attendolo Sforza on behalf of Ludovico d'Angiò and in 1440 it passed to Alfonso I of Aragon.

Later, between the 16th and 17th centuries, Lemitone was built, one of the most important quarters of Aversa, with streets that cut by a diagonal and that intersect each other forming right angles. The perimeter of Limitone repeats the scheme of the famous Spanish Quarters of Naples, made over half a century before by the Viceroy Don Pedro de Toledo.

Precisely as a result of its rich history, the city has a consistent urban stratification, which is even today object of study.

Simplifying, it can be said that the town of Aversa has two different phases of development:

1) the Norman nucleus (11th century), with a radiocentric plan;

2) the orthogonal structure of the Lemitone quarter (17th century), located south-east of the originary nucleus.

The masonry building under study is located close to the border of the historic center. It can be identified in the Recovery Plan of the historic center of Aversa as an "area subjected to Restauration" (Table P2.b, PRCS) and is included in the "Areas of Particular Cultural Interest" - "A2" (Table P4.3, PRG2001), where the letter "A" refers to the Norman nucleus.



Immagine 2. Vista satellitare
Image 2. Satellite view



Immagine 3. Stralcio PRG
Image 3. PRG excerpt

Caso Studio: Edificio in muratura

L'unità edilizia è stata realizzata prima del 1950 e fa parte di un fabbricato più ampio di proprietà privata, costituito da due piani: un piano terra, adibito a negozio, e un piano primo, a civile abitazione. Allo stato attuale, l'unità in oggetto si presenta in stato di fatiscenza e di forte dissesto strutturale, con parziali crolli che hanno coinvolto le mura perimetrali; inoltre, risulta priva di tramezzature, intonaci, pavimentazione e impianti, come pure del solaio, completamente crollato.



Immagine 4. Vista esterna dell'edificio
Image 4. External view



Immagine 5. Vista interna dell'edificio
Image 5. Internal view

Il fabbricato, realizzato in muratura, rientra nella Categoria A/2 - Edificio per civile Abitazione, così come rappresentato nel Nuovo Catasto Edilizio Urbano (N.C.E.U.).

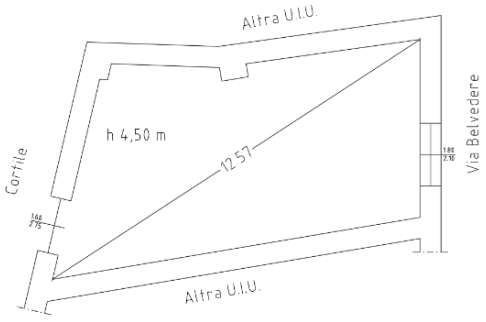


Immagine 6. Pianta stato di fatto
Image 6. Current state plan

Lo stato di progetto prevede una divisione interna in quattro vani, per una superficie complessiva utile di 50.30 m^2: cucina-soggiorno, camera da letto, bagno e corridoio. L'unità edilizia confina sui lati est e ovest con altre abitazioni, facenti parte del medesimo complesso edilizio.

Proprio in relazione al periodo di costruzione e in virtù dei vincoli presenti in questa zona di forte interesse storico, lo stato di progetto dell'edificio non potrà assolutamente cambiarne la facciata, la geometria e le altezze imposte dalle norme comunali, al fine di garantirne la perfetta integrazione nell'insediamento urbano esistente.

Case study: Masonry building

The property was built before 1950 and is a portion of a bigger private building composed of two floors: a main floor, used as a shop, and a first floor, used as a private residence. Now the building is in a state of deterioration and strong structural instability, with partial collapses that have involved the perimeter walls, and is also devoid of partitions, plaster, flooring, and equipment, as well as the rooftop, completely collapsed.



Immagine 4. Vista esterna dell'edificio
Image 4. External view



Immagine 5. Vista interna dell'edificio
Image 5. Internal view

The building, made of masonry, falls within into the category A/2 - Building for residential use, as represented in the New Urban Building Cadastre (N.C.E.U.).

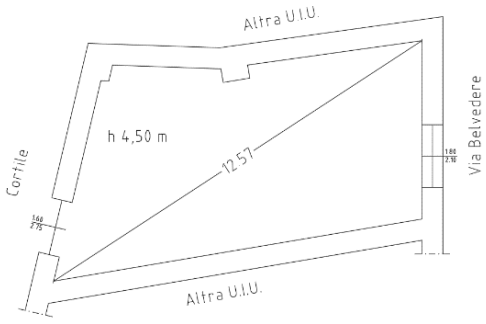


Immagine 6. Pianta stato di fatto
Image 6. Current state plan

The project status provides for an internal division into four rooms, with a total usable area of 50.30 m^2: kitchen-living room, bedroom, bathroom and corridor. The building unit is bordered on the east and west sides by other houses, which are part of the same building complex.

In relation to the period of construction and by virtue of the constraints in this area of strong historical interest, the state of the project of the building will absolutely not change the frontage, geometry and heights imposed by municipal regulations, in order to guarantee the perfect integration in the existing urban area.

Materiali e tecniche costruttive

Il principale materiale di costruzione dell'edificio in questione è il tufo giallo napoletano (TGN), ricavato da un esteso deposito piroclastico risalente a circa 15 mila anni fa, prodotto di uno dei maggiori eventi eruttivi che hanno interessato i Campi Flegrei.

L'uso di questo materiale come pietra da costruzione ha sempre caratterizzato l'area campana sin dai primi insediamenti umani, svolgendo un ruolo fondamentale nell'architettura e nell'edilizia storica. Il tufo è formato essenzialmente da prodotti di esplosioni vulcaniche che hanno subito un processo di cementazione; e sono proprio il grado di cementazione e la diversa composizione mineralogica ad influenzarne in modo decisivo la colorazione, permettendoci di distinguerne le differenti tipologie.



Immagine 7. Tufo Giallo
Image 7. Neapolitan yellow tuff

Il litotipo TGN si può definire come roccia macroporosa, leggera e tenera, ed è caratterizzato da una elevata eterogeneità tessiturale nella quale rileva la presenza di litici e pomici di varie dimensioni.

Nella seconda metà del novecento questo materiale era largamente utilizzato, trovandosi in grandi quantità sotto la città stessa ed essendo di facile estrazione e lavorazione. Infatti, era usanza comune estrarre il tufo dal sottosuolo dell'area di edificazione, al fine di evitare i costi del trasporto e per disporre di un ulteriore volume aldisotto dell'edificio.

La tecnica di costruzione dell'edificio è a muratura regolare, realizzata con elementi dal taglio quasi perfettamente squadrato. Una scelta di questo genere migliora la resistenza degli elementi murari nei confronti delle azioni orizzontali sismiche, come pure le caratteristiche meccaniche degli stessi.

Il tufo, da un punto di vista meccanico, possiede una buona resistenza a compressione, nonostante il basso peso, ed un'ottima affinità con le malte. Inoltre, è caratterizzato da un notevole potere di isolamento acustico e coibenza termica, come conseguenza del basso valore di trasmittanza termica (pari a circa 1.7 W/mk per murature portanti) e della sua struttura alveolare tufacea, con intrusioni di pomici e lapilli. La sua natura porosa permette una buona traspirabilità, consentendo all'umidità di non accumularsi nell'abitazione ed impedendo la formazione di condense e muffe.

Per le caratteristiche sopra descritte, e per le vicissitudini dovute alla zona di intervento, le pre-esistenti pareti in muratura non possono essere abbattute, ma costituiranno un valido aiuto nella realizzazione di un ambiente termicamente confortevole.

Materials and construction techniques

The main construction material of the building is the Neapolitan yellow tuff (TGN), obtained from an extensive pyroclastic deposit dating back about 15k years ago, the product of one of the major eruptive events that have affected the Campi Flegrei.

The use of this material, has always characterized the Campania area since the first human settlements, having a fundamental function in architecture and historical building. The tuff is basically formed by products of volcanic explosions that have undergone a process of cementation, and just are the degree of cementation and the different mineralogical composition to influence in a decisive way the color, allowing us to distinguish the different types.

The lithotype TGN can be defined as macroporous rock, light and soft, and is characterized by a high tessitural heterogeneity in which detects the presence of lithics and pumices of various dimensions.

In the second half of the '900 this material was widely used, being available in large quantities in the subsoil and easy to extract and to manufacture. In fact, it was common custom to extract the tuff from the subsoil of the building area, in order to avoid transport costs and also to have an additional volume under the building.



Immagine 7. Tufo Giallo
Image 7. Neapolitan yellow tuff

The construction technique of the building is a regular masonry, made with elements cut almost perfectly square. This choice improves the resistance of the masonry elements against horizontal seismic actions, as well as the mechanical characteristics.

The tuff, according to its mechanical properties, has a good compressive strength, despite its low weight, and an excellent affinity with mortars. It is characterized by a considerable power of acoustic and thermal insulation, because of the low thermal transmittance value (equal to about 1.7 W/mk for load-bearing walls) and its tuffaceous honeycomb structure, with intrusions of pumice and lapilli. Its porous nature allows a good breathability, allowing humidity not to accumulate in the house and preventing the formation of condensation and mold.

For the characteristics described above, and for the vicissitudes due to the area of intervention, the pre-existing masonry walls cannot be demolished, but they will offer a great help in the creation of a thermally comfortable environment.

Introduzione alla progettazione in BIM e alla certificazione energetica

Ai fini della progettazione, si è partiti dal rilievo dell'edificio per poi passare allo studio della struttura e agli interventi di riabilitazione dell'unità edilizia, i cui calcoli non saranno oggetto del presente articolo.

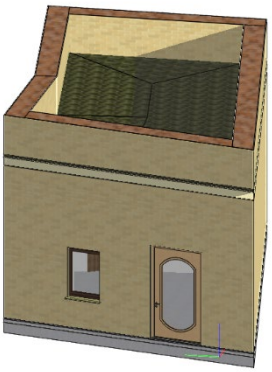


Immagine 8. Unità 3D
Image 8. 3D design

Una volta realizzata la base in CAD, si è proceduto a disegnare l'edificio in muratura tramite il software ARCHLine.XP, specificamente pensato per il passaggio da CAD a BIM.

Il BIM (Building Information Modelling) è un sistema che permette lo scambio di dati grazie all'interoperatività tra i software e rappresenta una tecnologia che si sta largamente sviluppando negli ultimi anni. Permette di realizzare, gestire, ricavare e comunicare informazioni tra soggetti a differenti livelli, sfruttando modelli creati dai partecipanti del processo edilizio (anche in tempi diversi).

La differenza sostanziale risiede nella resa delle informazioni: mentre nel disegno CAD, esse vengono fornite da documenti separati, nel BIM, invece, vengono estratte da specifici database.

Ed è proprio grazie ad uno di questi database che si è riusciti a mettere in comunicazione ARCHLine.XP con Termo di Namirial, un software BIM specifico per la certificazione, la diagnostica e la verifica delle prestazioni energetiche.

In Italia, in applicazione del D.Lgs. 192/2005 e del successivo D.M. 26/06/2015, è prevista per gli edifici una catalogazione in classi energetiche predefinite, con l'obiettivo di ridurre i consumi energetici complessivi, gli sprechi e le emissioni di CO_2.

Per certificazione energetica si intende una procedura eseguita da un tecnico professionista che calcola i consumi energetici (espressi in Kilowatt in un'ora per metro quadro) dell'edificio, al fine di mantenere determinate condizioni ambientali al suo interno. I risultati di questa analisi fanno rientrare la struttura all'interno di determinate classi energetiche.

Introduction to BIM design and energy certification

For this project, we started with the survey of the building and then moved on to the study of the structure and the rehabilitation of the building unit, but the calculations will not be a subject of this paper.

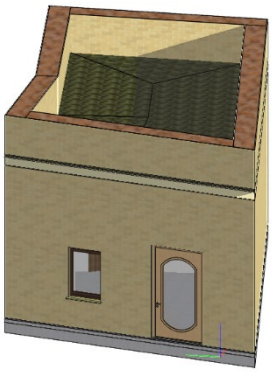


Immagine 8. Unità 3D
Image 8. 3D design

The base was created in CAD, then we proceeded to design the masonry building using ARCHLine.XP software, specifically designed for the transition from CAD to BIM.

BIM (Building Information Modelling) is a system that allows the exchange of data thanks to the interoperability between software and represents a technology that has been widely developed in these years. It allows realizing, managing, obtaining and communicating information between subjects at different levels, using models created by the participants of the building process (even at different times).

The main difference consists in the information provided: while in CAD design, the information is provided by separate documents, in BIM it is extracted from specific databases.

Thanks to one of these databases ARCHLine.XP has been able to communicate with Termo (by Namirial), a specific BIM software for certification, diagnostics and verification of energy performance.

In Italy, in application of D.Lgs. 192/2005 and the subsequent D.M. 26/06/2015, a cataloguing in pre-defined energy classes is provided for buildings, with the aim of reducing overall energy consumption, waste and CO_2 emissions.

Energy certification is a procedure carried out by a professional technician who calculates the energy consumption (expressed in Kilowatts in one hour per square meter) of the building, to keep certain environmental conditions within it. The results of this analysis make the structure fall within certain energy classes.

Fase Progettuale

Nella fase progettuale ad ogni elemento tridimensionale (muri esterni, muri interni, copertura e basamento) sono state assegnate caratteristiche reali e compatibili con la libreria di Namirial. In seguito, partendo dalle ipotesi formulate in relazione agli spazi interni, sono state individuate le caratteristiche dei diversi vani: superficie utile, volume, superficie illuminata, destinazione d'uso e se la zona fosse riscaldata o meno.

Di conseguenza, il progetto è stato trasferito su Termo per l'esecuzione del calcolo termico. Il software in questione ha importato automaticamente tutti i dati descritti in precedenza, ovverosia la struttura e le sue caratteristiche, la composizione delle mura, della copertura, del solaio e degli infissi.

Nel caso specifico:
- pareti esterne da 64 cm;
- pareti confinanti da 64 cm;
- pareti interne;
- infissi di varia natura;
- copertura piana non praticabile + polistirolo + ciottoli di fiume;
- basamento contro terra.

Descrizione (dall'alto verso il basso)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale esterna	0,040	
Ciottoli e pietre frantumate con del umidità 2%	0,071	5,0
Intercapedine con polistirolo	0,444	2,0
Bitume	0,059	1,0
Massetto in calcestruzzo ordinario (1700 kg/m³)	0,019	2,0
Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo) 160 + malta	0,330	22,0
Intonaco di calce e gesso	0,029	2,0
Resistenza superficiale interna	0,100	
Totale:	1,092	34,0

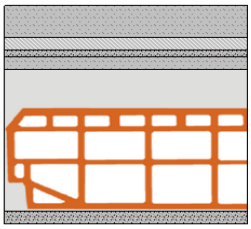


Immagine 9. Sezione in dettaglio della copertura
Image 9. Detail section of the coverage

Descrizione (dall'alto verso il basso)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,170	
Pavimentazione interna - gres	0,010	1,5
Malta di cemento	0,021	3,0
Calcestruzzo alleggerito (1200 kg/m³)	0,303	10,0
Ghiaia grossa senza argilla con umidità del 5%	0,250	30,0
Resistenza superficiale esterna	0,040	
Totale:	0,795	44,5

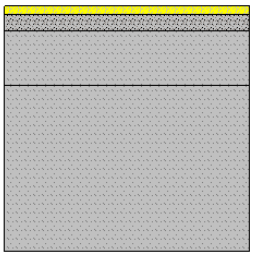


Immagine 10. Sezione in dettaglio del basamento
Image 9. Detail section of the basement

Descrizione (dall'interno verso l'esterno)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,130	
Intonaco di calce e gesso	0,029	2,0
Blocchi in tufo (1600 kg/m³)	1,091	60,0
Malta di calce o di calce e cemento	0,022	2,0
Resistenza superficiale esterna	0,040	
Totale:	1,312	64,0

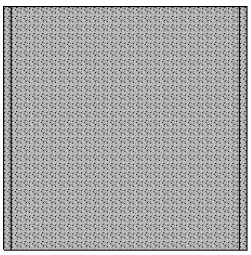


Immagine 11. Sezione in dettaglio dei muri perimentrali
Image 9. Detail section of bordering walls

Inoltre, basandosi sui dati di geo-localizzazione precedentemente impostati su ArchLine.XP, Termo ha definito con accuratezza anche i dati climatici della zona e l'esposizione delle facciate.

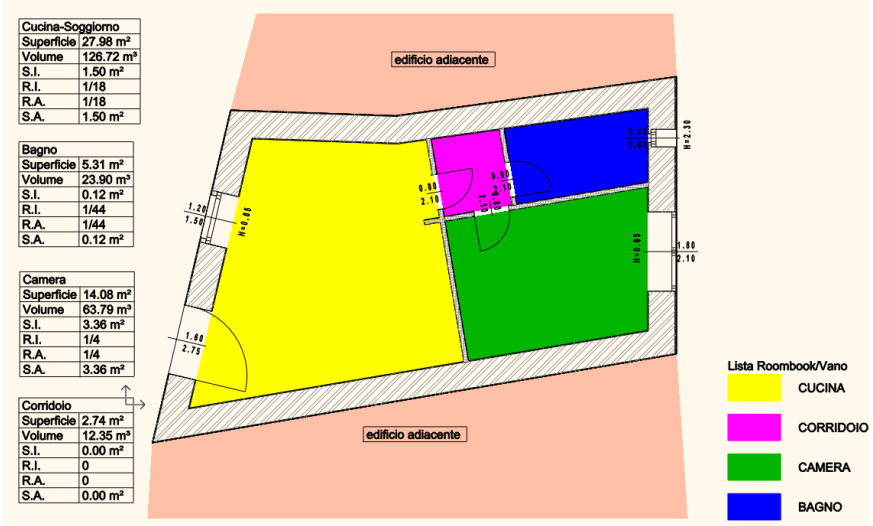


Immagine 12. Pianta con suddivisione degli spazi
(S.I.=superficie Illuminante; R.I.=rapporto Illuminante; S.A.=superficie Areante; R.A.=rapporto Areante)
Image 12. Plan with space distribution
(S.I.=Lighting surface; R.I.=Lighting ratio; S.A.=Airing surface; R.A.=Airing ratio)

Una volta importati questi dati strutturali e tecnologici, sono stati aggiunti:
- i dati generali (committente, progettista etc.);
- la normativa utilizzata per il metodo di calcolo;
- l'edificio in centro storico;
- la centrale termica, nel caso in esame una centrale a gas-metano elettrica per riscaldamento domestico e produzione di acqua calda 25 kW, come presumibilmente sarà installata dal proprietario dell'immobile.

Completati i suddetti passaggi, il software ha ricavato la classe energetica dell'edificio, determinata attraverso l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile - ***EPgl,nren*** [kWh/m^2 anno]:

$$EP_{gl,nren} = EPH,_{nren} + EPC,_{nren} + EPW,_{nren} + EPV,_{nren} + EPL,_{nren} + EPT,_{nren}$$

il quale è somma del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale ed estiva (*EPH,nren* ed *EPC,nren*), per la produzione di acqua calda sanitaria (*EPW,nren*), per la ventilazione (*EPV,nren*) e, nel caso del settore non residenziale, per l'illuminazione artificiale (*EPL,nren*) e il trasporto di persone o cose (*EPT,nren*).

Nel caso di specie, come si evince dalla tabella riportata sotto, i valori di *EPL,nren* e *EPT,nren* sono nulli perché si tratta di edilizia residenziale e il valore *EPV,nren* è nullo poiché non vi è ventilazione forzata, bensì naturale.

EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
301,8	53,9	5,7	0,0	0,0	0,0	361,5	kWh/m²	0,6818	0,3331	2,4243	D

Il programma ha poi estrapolato una serie di dati utili, quali:
- la dispersione termica, da cui si evince che il basamento è la struttura che disperde maggiormente, con una trasmittanza di 1.25 W/m^2;

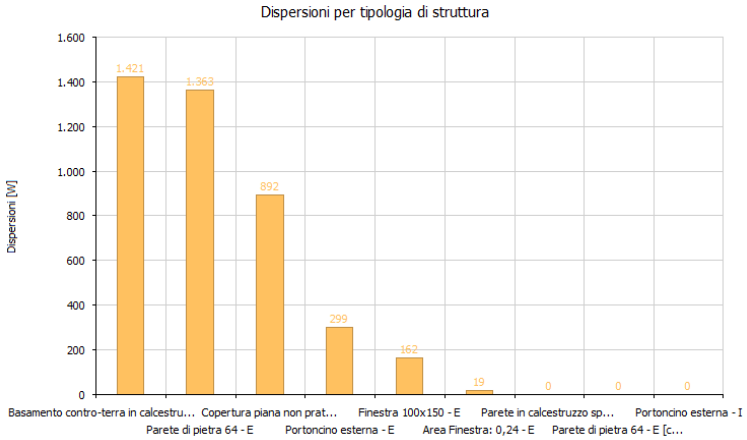


Tabella 1. Dispersione per tipologia di struttura
Chart 1. Dispersion by type of structure

- il fabbisogno di energia primaria: la UNI/TS 11300–2 definisce le modalità di calcolo del fabbisogno di energia primaria (EP) del sistema edificio-impianto partendo dal fabbisogno di energia termica per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria, passando attraverso il calcolo dei rendimenti dell'impianto termico installato.

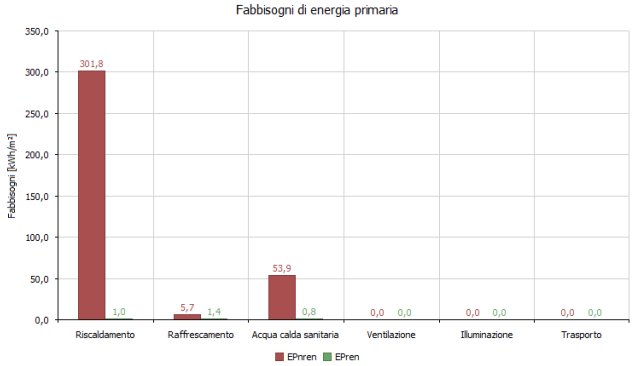


Tabella 2 . Fabbisogno di energia primaria
Chart 2. Primary energy requirement

- l'andamento del rapporto apporti/dispersioni durante l'anno, dove: per il riscaldamento $\gamma H = \frac{Q_{gn}}{Q_{H,ht}}$ e per il raffrescamento $\gamma C = \frac{Q_{gn}}{Q_{C,ht}}$, Q_{gn} sono gli apporti termici totali e Q_{ht} sono le dispersioni calde (H) e fredde (C), cioè gli scambi termici totali tra ambiente confinato ed esterno.

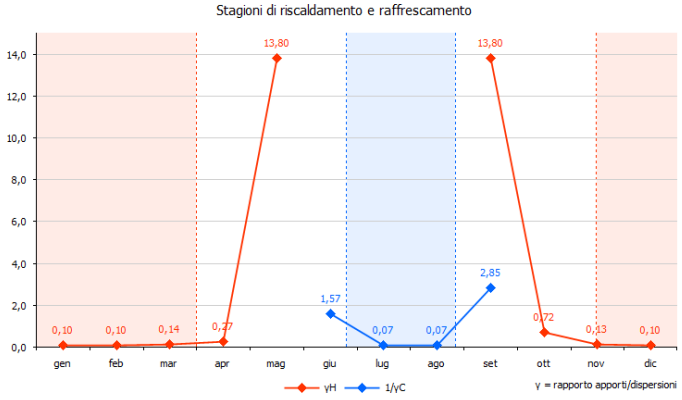


Tabella 3. Stagioni di riscaldamento e raffrescamento
Chart 3. Heating and cooling seasons

Design Phase

In the design phase real charateristics compatible with Namirial library were attribuited to each three-dimensional element (exterior walls, interior walls, roof and basement). Then, starting from the hypothesis formulated in relation to the interior spaces, the characteristics of the different rooms were identified: usable area, volume, illuminated surface, intended use and if the area was heated or not.

Consequently, the project, was transferred from ARCHLine.XP to Termo for performing the thermal calculation. The software in question automatically imported all the data described above, i.e. the structure and its characteristics, the composition of the walls, the roof, the floor and the fixtures.

In the present case:
- external walls of 64 cm;
- bordering walls of 64 cm;
- internal walls;
- various types of fixtures;
- non-practicable flat roof + polystyrene + river pebbles;
- basement against the ground.

Descrizione (dall'alto verso il basso)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale esterna	0,040	
Ciottoli e pietre frantumate con del umidità 2%	0,071	5,0
Intercapedine con polistirolo	0,444	2,0
Bitume	0,059	1,0
Massetto in calcestruzzo ordinario (1700 kg/m³)	0,019	2,0
Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo) 160 + malta	0,330	22,0
Intonaco di calce e gesso	0,029	2,0
Resistenza superficiale interna	0,100	
Totale:	1,092	34,0

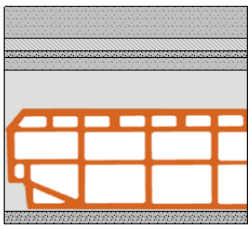


Immagine 9. Sezione in dettaglio della copertura
Image 9. Detail section of the coverage

Descrizione (dall'alto verso il basso)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,170	
Pavimentazione interna - gres	0,010	1,5
Malta di cemento	0,021	3,0
Calcestruzzo alleggerito (1200 kg/m³)	0,303	10,0
Ghiaia grossa senza argilla con umidità del 5%	0,250	30,0
Resistenza superficiale esterna	0,040	
Totale:	0,795	44,5

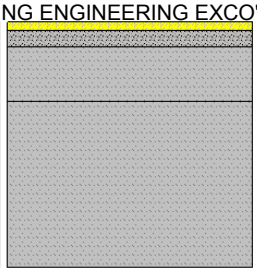


Immagine 10. Sezione in dettaglio del basamento
Image 10. Detail section of the basement

Descrizione (dall'interno verso l'esterno)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,130	
Intonaco di calce e gesso	0,029	2,0
Blocchi in tufo (1600 kg/m³)	1,091	60,0
Malta di calce o di calce e cemento	0,022	2,0
Resistenza superficiale esterna	0,040	
Totale:	1,312	64,0

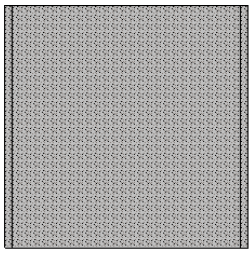


Immagine 11. Sezione muri perimetrali
Image 11. Detail section of bordering walls

In addition, based on the geo-location data already set up in ArchLine.XP, Termo also defined the climatic data of the area and the exposure of the facades.

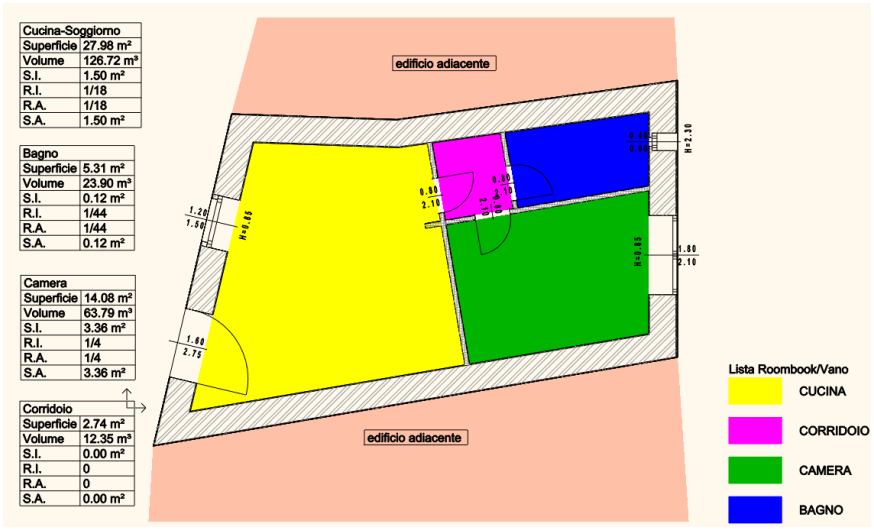


Immagine 12. Pianta con suddivisione degli spazi
(S.I.=superficie Illuminante; R.I.=rapporto Illuminante; S.A.=superficie Areante; R.A.=rapporto Areante)
Image 12. Plan with space distribution
(S.I.=Lighting surface; R.I.=Lighting ratio; S.A.=Airing surface; R.A.=Airing ratio)

When these structural and technological data were imported, they were added:
- the general information (client, designer, etc.);
- the standards used for the calculation method;
- the building in the historical center;
- the thermal power station, in this case gas-methane electric system for domestic heating and hot water production 25 kW, as presumably it will be installed by the owner of the building.

After completing these steps, the software calculated the energy class of the building, determined through the overall non-renewable energy performance index - ***EPgl,nren*** [kWh/m2 year]:

$$EP_{gl,nren} = EPH_{,nren} + EPC_{,nren} + EPW_{,nren} + EPV_{,nren} + EPL_{,nren} + EPT_{,nren}$$

In the present case, as it can be seen from the chart below, the *EPL,nren* and *EPT,nren* values are equal to zero because it is a residential building and also the *EPV,nren* value is zero because there is no forced ventilation, but natural one.

EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
301,8	53,9	5,7	0,0	0,0	0,0	361,5	kWh/m²	0,6818	0,3331	2,4243	D

Then the program provided us a series of useful data, such as:

- thermal dispersion, from which it can be seen that the basement is the structure that gives off the most, with a transmittance of 1.25 W/m^2;

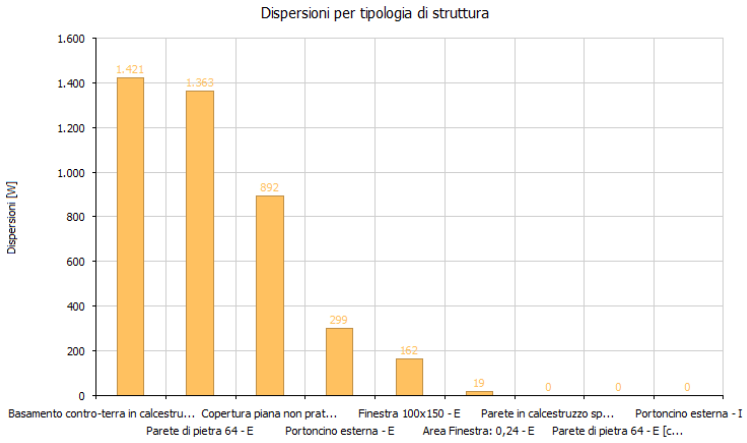


Tabella 1. Dispersione per tipologia di struttura
Chart 1. Dispersion by type of structure

- the primary energy requirement: the UNI/TS 11300-2 defines the calculation method for the building-installation system's primary energy requirement (EP), starting from the thermal energy requirement for winter heating and the production of domestic warm water, then going through the efficiency calculation of the installed thermal plant;

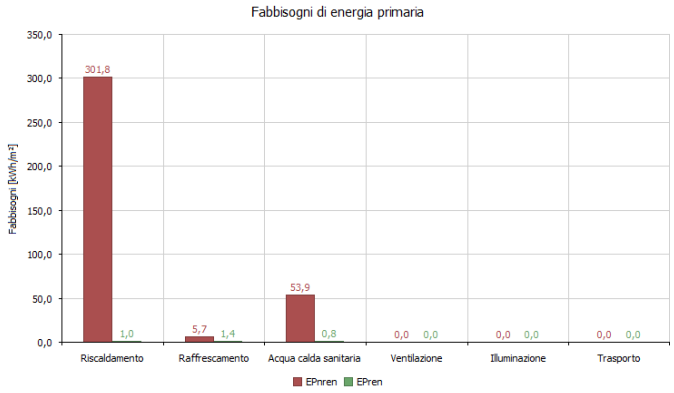


Tabella 2. Fabbisogno di energia primaria
Chart 2. Primary energy requirement

-the trend of the intake/dispersion ratio throughout the year where: for heating $\gamma H = \frac{Q_{gn}}{Q_{H,ht}}$; and for cooling $\gamma C = \frac{Q_{gn}}{Q_{C,ht}}$, *Qgn* are just the total heat inputs, *Qht* are the hot (H) and cold (C) dispersions, that is the total heat exchanges between the confined environment and the outside.

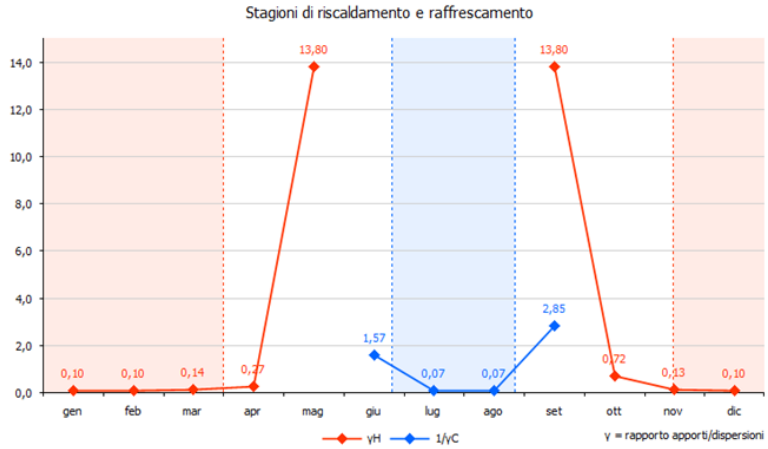


Tabella 3. Stagioni di riscaldamento e raffrescamento
Chart 3. Heating and cooling seasons

Ipotesi di interventi migliorativi

Nel caso oggetto di studio si è ipotizzato uno scenario migliorativo di coibentazione del basamento con un pannello di *Stiferite Classe B*, una particolare tipologia di poliuretano espanso rigido, con spessore di 16 cm, unito alla coibentazione della copertura, sempre con un pannello di *Stiferite classe GTE* con spessore di 8 cm.

Descrizione (dall'alto verso il basso)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale esterna	0,040	
Ciottoli e pietre frantumate con del umidità 2%	0,071	5,0
Intercapedine con polistirolo	0,444	2,0
Bitume	0,059	1,0
Stiferite Class B (80-100 mm)	3,846	10,0
Massetto in calcestruzzo ordinario (1700 kg/m³)	0,019	2,0
Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo) 160 + malta	0,330	22,0
Intonaco di calce e gesso	0,029	2,0
Resistenza superficiale interna	0,100	
Totale:	4,938	44,0

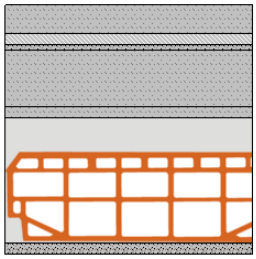


Immagine 13. Copertura post intervento
Image 13. Post-intervention Coverage

Descrizione (dall'alto verso il basso)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,170	
Pavimentazione interna - gres	0,010	1,5
Malta di cemento	0,021	3,0
Stiferite GTE	3,636	8,0
Calcestruzzo alleggerito (1200 kg/m³)	0,303	10,0
Ghiaia grossa senza argilla con umidità del 5%	0,250	30,0
Resistenza superficiale esterna	0,040	
Totale:	4,431	52,5

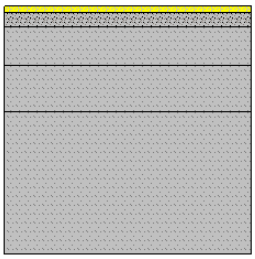


Immagine 14. Basamento post-intervento
Image 14. Post-intervention Basement

Con questi piccoli accorgimenti la classe energetica sale da "D" a "C", con un miglioramento del *EPgl* di oltre 60 kWh/m^2 anno e un abbassamento della CO_2 prodotta da 71.50 kg/m^2 a 58.16 kg/m^2 .

Interventi migliorativi	EP		Classe raggiunta	CO2 prodotta	
Basamento	310,911	kWh/m²	C	61,3799	kg/m²
copertura	337,567	kWh/m²	D	66,7552	kg/m²
Prestazione raggiungibile	293,838	kWh/m²	C	58,1597	kg/m²

Hypothesis of improvements

In the case under investigation it has been assumed that an improving scenario of insulation of the basement taking advantage of a panel of *Stiferite Class B*, a particular type of rigid polyurethane foam, with a thickness of 16 cm, combined with the insulation of the roof, achieved by using another panel of *Stiferite Class GTE* with a thickness of 8 cm.

Descrizione (dall'alto verso il basso)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale esterna	0,040	
Ciottoli e pietre frantumate con del umidità 2%	0,071	5,0
Intercapedine con polistirolo	0,444	2,0
Bitume	0,059	1,0
Stiferite Class B (80-100 mm)	3,846	10,0
Massetto in calcestruzzo ordinario (1700 kg/m³)	0,019	2,0
Soletta (blocchi in laterizio + travetti in calcestruzzo) 160 + malta	0,330	22,0
Intonaco di calce e gesso	0,029	2,0
Resistenza superficiale interna	0,100	
Totale:	4,938	44,0

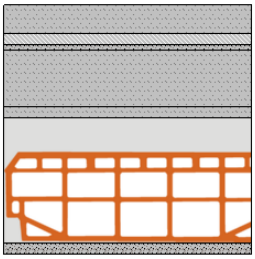


Immagine 13. Copertura post intervento
Image 13. Post-intervention Coverage

Descrizione (dall'alto verso il basso)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,170	
Pavimentazione interna - gres	0,010	1,5
Malta di cemento	0,021	3,0
Stiferite GTE	3,636	8,0
Calcestruzzo alleggerito (1200 kg/m³)	0,303	10,0
Ghiaia grossa senza argilla con umidità del 5%	0,250	30,0
Resistenza superficiale esterna	0,040	
Totale:	4,431	52,5

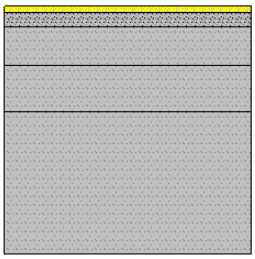


Immagine 14. Basamento post-intervento
Image 14. Post-intervention Basement

Thanks to these small changes the energy class rises from "D" to "C" with an improvement of *EPgl* of more than 60 kWh/m^2 per year and a reduction of CO_2 produced from 71.50 kg/m^2 to 58.16 kg/m^2.

Interventi migliorativi	EP		Classe raggiunta	CO2 prodotta	
Basamento	310,911	kWh/m²	C	61,3799	kg/m²
copertura	337,567	kWh/m²	D	66,7552	kg/m²
Prestazione raggiungibile	293,838	kWh/m²	C	58,1597	kg/m²

Conclusioni

In conclusione, la classe energetica dell'edificio, così come inizialmente ipotizzato, risulta essere la "D".

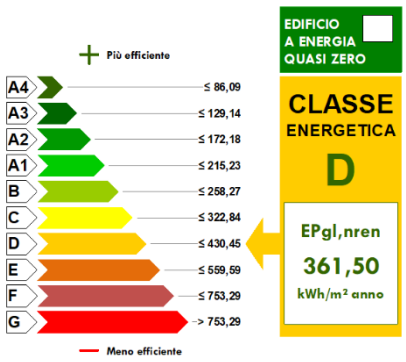


Immagine 15. Classe energetica
Image 15. Energy class

Trattasi di una classe non molta alta, e sarebbe per questo opportuno implementare delle migliorie, come quelle brevemente ipotizzate nel corpo del presente articolo, in modo da rendere l'edificio più efficiente dal punto di vista energetico. Nello specifico, si potrebbe installare una centrale termica più efficiente e migliorare la trasmittanza del basamento, della copertura e delle pareti esterne, prevedendo più strati coibentanti.

Rendere un fabbricato efficiente dal punto di vista energetico, infatti, vuol dire prima di tutto fare un investimento in grado di produrre risultati positivi nel breve e nel lungo periodo. Gli interventi di efficientamento energetico, del resto, mirano ad

ottimizzare il rapporto tra fabbisogno energetico e livello di emissioni: da un lato, migliorano le prestazioni degli edifici, dall'altro, garantiscono un ottimo comfort abitativo. Infatti, alzare la classe energetica di un immobile, ad esempio da "D" ad "A", significa presentare un immobile confortevole, con un elevato valore di rivendita sul mercato e con consumi energetici bassi in ogni stagione dell'anno.

Tra gli interventi che possono contribuire al miglioramento dell'efficienza energetica rientrano senza dubbio:

- le opere di coibentazione termica delle facciate, che rendono possibile un aumento fino a quattro classi energetiche;
- l'isolamento termico delle coperture che, nelle zone a clima freddo e durante i mesi invernali, impedisce le dispersioni di calore all'esterno; e, nelle aree a clima caldo e durante i mesi estivi, previene il surriscaldamento degli ambienti, facendo guadagnare all'immobile fino a due classi energetiche in più;
- la sostituzione degli infissi, ad esempio mediante installazioni a doppio o a triplo vetro;
- la sostituzione degli impianti di climatizzazione e delle caldaie di vecchia generazione con sistemi di caldaie a condesazione, le quali riescono a recuperare il calore dei fumi di combustione e del vapore acqueo, consentendone il riutilizzo;
- l'utilizzo di pompe di calore geotermiche, che trasferiscono il calore dal terreno o dall'acqua di falda agli ambienti di casa, con il vantaggio di poter essere sfruttati tanto per il riscaldamento quanto per il raffrescamento dell'edificio;
- l'aggiunta di un impianto fotovoltaico, specie con accumulo, che garantisca la possibilità di conservare l'energia elettrica in una batteria per poi sfruttarla per gli usi quotidiani anche durante le ore notturne, in cui non è attiva la fonte solare.
- la realizzazione di un sistema di domotica residenziale per poter controllare da remoto gli impianti e gestire i consumi elettrici in modo ottimale e automatizzato.

Un edificio capace di sfruttare in modo ottimale l'energia avrà un minore impatto in termini di inquinamento ambientale ed atmosferico, così come un sistema orientato al progressivo abbandono dei combustibili fossili a favore delle energie rinnovabili riesce a coniugare salvaguardia ambientale e risparmio energetico ed economico.

Conclusions

In conclusion, the energy class of the building, as it was initially assumed, turns out to be "D".

Obviously, this does not represent a very high class, and it would be appropriate to implement some improvements, such as those that have been briefly suggested in this paper, to make the building more energetically efficient. In particular, it would be advisable: to install a more efficient central heating plant; to improve the transmittance of the basement, the roof, and the external walls, adding more insulating layers.

In fact, an energetically efficient building is firstly an investment that can produce positive results in both the short and long term. Measures of energy efficiency aim to optimize the relationship between energy requirement and emissions. They improve the performance of buildings and, they guarantee an ideal living comfort. Besides, increasing the energy class of a building, for example from "D" to "A", means to realize a comfortable property having a high resale value on the market and with low energy consumption throughout the year.

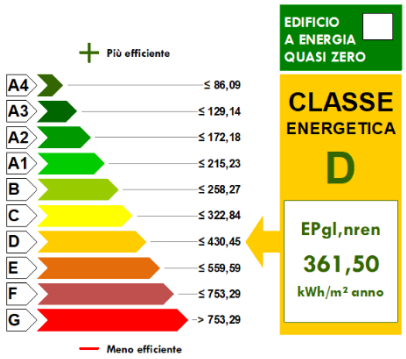


Immagine 15. Classe energetica
Image 15. Energy class

Among the interventions, that can contribute to improve the energy efficiency, there are:

- the insulation of facades, which make it possible an upgrade to four energy classes;

- the thermal insulation of the roofs that, in cold climate

areas and during the winter months, prevents the heat from escaping outside, and, in hot climate areas and during the summer months, prevents the overheating of environments, making the building gain up to two more energy classes;

- the replacement of windows and doors, for example by installing double or triple glazing;

- the replacement of air conditioning systems and old generation boilers with condensing boiler systems, which can recover the heat of combustion fumes and water vapor, allowing its reuse;

- the use of geothermal heat pumps, which transfer heat from the ground or groundwater to the rooms of the house, with the benefit that they can be used both for heating and cooling the building;

- the addition of a photovoltaic system, especially with storage, which guarantees the possibility of storing electricity in a battery and then using it for daily use even during the night, when the solar source is not active;

- the realization of a residential home automation system, in order to remotely control the system and manage electricity consumption in an optimal and automated way.

A building able to fully exploit energy will undoubtedly have a lower impact in terms of environmental and atmospheric pollution, as well as a system oriented to the gradual abandonment of fossil fuels in favor of renewable energy sources can combine environmental protection and energy and economic savings.

BIBLIOGRAFIA/BIBLIOGRAPHY

- Antonucci R. «Restauro e recupero degli edifici a struttura muraria. Analisi e interventi sul 'costruito storico' », Progettazione Tecniche e materiali Vol.293, IV Edizione (2012), Maggioli Editore.
- Agostini S. «Recupero e riuso degli edifi rurali», Progettazione Tecniche e materiali Vol.182, Maggioli Editore, (2008).
- Asdrubali F., et alii «Il Nuovissimo manuale europeo di Bioarchitettura: Paradigmi, città-territorio, parametri ambientali, energie alternative, edificio bioclimatico, dettagli costrutivi, materiali ecologici, valutazioni e certificati ambientali, configurazione», curatore Sasso U., Carlo Mancosu Editore (2007)
- Avagnina M., et alii «Il Nuovissimo manuale dell'architetto: dissesto idrogeologico, restauro e riuso, BIM, esercizio professionale, edificazione scolastica, materiali, componenti, tecniche», Vol. III, Carlo Mancosu Editore (2019).
- Grassi W., Scatizzi G., Venturelli F. «La certificazione energetica degli edifici e degli impianti», Progettazione Tecniche e materiali Vol.16, Maggioli Editore, (2006)
- Moscia L. «Aversa. Tra vie, piazze e chiese», LER Napoli Roma, (1997).
- Osello A. «Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti» , Dario Flaccovio Editore, (2012).

SOFTWARE

- ARCHLine.XP 2020 [Computer Software]. Cadline Software. Caselle di Selvazzano (PD) - Italy
- Namirial TERMO 5.3 [Computer Software].EDILIZIA NAMIRIAL®. NAMIRIAL S.p.A. Senigallia (An) - Italy

RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y LA DEMOLICIÓN. OBJETIVOS PARA UNA GESTIÓN MÁS SOSTENIBLE. PROYECTO CONDEREFF

CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE. OBJECTIVES FOR A MORE SUSTAINABLE MANAGEMENT. CONDEREFF PROJECT.

Javier Cárcel-Carrasco
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es
Elisa Peñalvo-López
Ph D. por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética de la UPV. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: elpealpe@upvnet.upv.es
José Ramón Albiol-Ibáñez
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: joalib1@csa.upv.es
Vicente López-Mateu
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: viloma@upv.es

Abstract
Throughout recent history, the construction industry has grown exponentially due to the population growth and the increased need and demand for more up-to-date and capable infrastructure.In some specific cases, these constructions have been able to reuse previous sites and buildings in order to carry out the required activities. However, new plant constructions are more usually built, sometimes demolishing the buildings previously located on the site.

This entire construction and demolition process involves a significant amount of waste that is often not managed in the most appropriate way, becoming a serious problem for the environment.For this reason, the Condereff project arises, aiming to achieve greater resource efficiency with a better management of the massive amounts of waste that are produced daily around the world.

Key words: Waste management; Recycling; Efficiency; Condereff; C&D Waste.

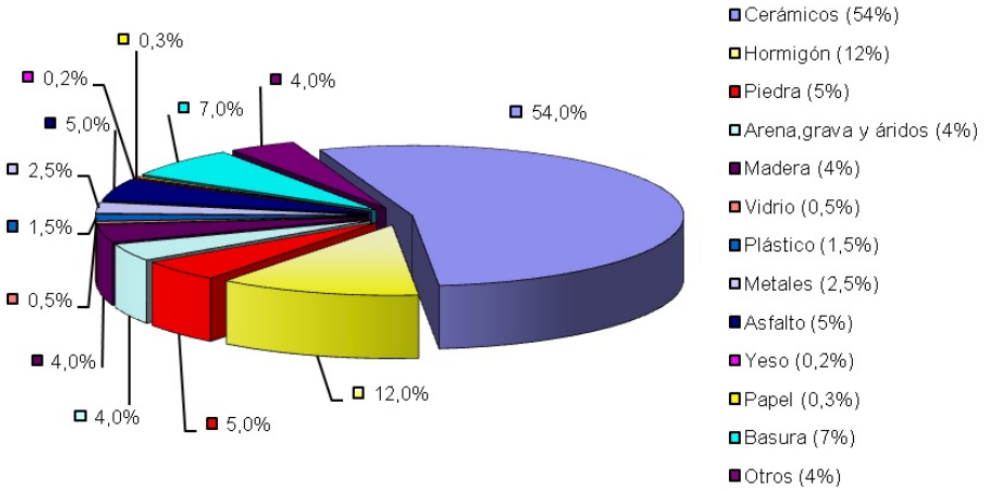
Resumen
A lo largo de la historia reciente, la industria de la construcción se ha visto sometida a un crecimiento exponencial emparejado al crecimiento de la población y al aumento de la necesidad y exigencia de infraestructuras más actualizadas y capaces. En algunos casos puntuales, estas construcciones han sido capaces de reutilizar emplazamientos y edificaciones anteriores para poder llevar a cabo las actividades requeridas. Sin embargo, de forma más generalizada se suelen realizar construcciones de nueva planta, demoliendo en ocasiones las edificaciones ubicadas previamente en el emplazamiento.

Todo este proceso de construcción y demolición supone una importante cantidad de residuos que en muchas ocasiones no se gestionan de la forma más adecuada, convirtiéndose en un serio problema para el medio ambiente. Por esta razón, surge el proyecto Condereff, con el objetivo de alcanzar una mayor eficiencia de los recursos a partir de una mejor gestión de las cantidades masivas de residuos que se producen a diario en todo el mundo.

Palabras clave: Gestión de residuos; Reciclaje; Eficiencia; Condereff; RCD.

Introducción

Diariamente se producen grandes cantidades de residuos originados a partir del sector de la construcción. Estos residuos se producen a lo largo del proceso tanto de demolición como de construcción posterior, y hasta tiempos recientes no han tenido la consideración adecuada, debido a que el tratamiento que recibía de forma general era su desecho, mayormente sin considerar ningún tipo de reciclaje. En la Figura 1 se puede apreciar el desglose de materiales que engloban los residuos de construcción y demolición en España, según el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento.



Fuente 1. CEDEX / *Source 1. CEDEX*

Debido a la reciente concienciación global sobre la necesidad de plantear un sistema más sostenible en todos los ámbitos, cada vez está más regularizada la gestión de estos materiales sobrantes. Sin embargo, esta gestión no es suficiente debido a que los residuos continúan produciéndose de forma masiva, consumiendo constantemente los recursos disponibles a un ritmo excesivo.

Por otra parte, los residuos producidos por la construcción y la demolición no son los únicos factores nocivos y negativos para el medio ambiente. La tendencia existente a desechar lo antiguo y consumir material nuevo supone un desgaste muy importante para la naturaleza. Especialmente por la producción de hormigón, siendo el cemento el material más consumido en el sector de la construcción (Gutiérrez de López, L., 2003; Conama, 2018). La producción de este compuesto supone la obtención continua de material pétreo en canteras, junto con procesos industriales de alta exigencia energética que supone un alto porcentaje de las emisiones de CO2 a la atmósfera que produce la actividad humana. Sin embargo, este no es el único material con gran presencia en los residuos de la construcción y la demolición. También otros materiales que se dan con frecuencia son la madera, materiales cerámicos, vidrios, metales y yeso, entre otros.

En esta línea de búsqueda de un sistema más sostenible, la Directiva del Marco de Residuos tiene como objetivo alcanzar el 70% de los residuos de C&D reciclados para 2020 (Web 1; (Hamidreza, Burman&Braimah, 2019; European Environmental Agency, 2002; Congreso Nacional del Medio Ambiente, 2018)

Es por este hecho que desde el Fondo Europeo de Desarrollo Profesional y la organización INTERREG Europe, se fundó en 2018 el proyecto CONDEREFF, con el objetivo de fomentar las políticas de gestión de residuos del sector de la construcción y de la demolición en las políticas territoriales, fortaleciendo y encaminando el uso de los recursos hacia un modelo de economía circular, cuyo planteamiento se puede apreciar en la figura 2. El proyecto propone apoyar y fortalecer la capacidad de las autoridades para introducirse en las regulaciones de gestión de residuos C&D, en aspectos de relevancia pública como las restricciones en vertederos, mejoras en las instalaciones de reciclaje o conciencia medioambiental.

Introduction

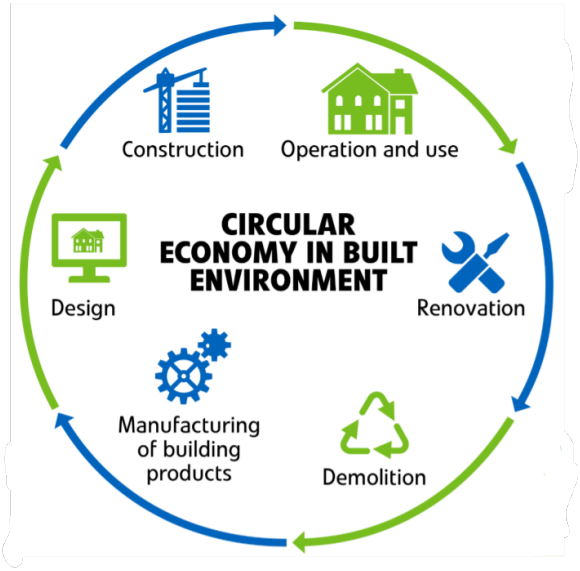
Large amounts of waste originated from the construction sector are produced daily. These wastes are produced throughout the process of both demolition and subsequent construction, and until recent times they have not been adequately considered, because the treatment they generally received was to be thrown away, mostly without considering any type of recycling process. Figure 1 shows the breakdown of materials that comprise construction and demolition waste in Spain, according to the Center for Studies and Experimentation of Public Works (CEDEX) of the Ministry of Development.

Due to the recent global awareness of the need to suggest a more sustainable system in all fields, the management of these surplus materials is increasingly regularized. However, this management is not enough since waste continues to be produced on a massive scale, constantly consuming available resources at an excessive rate.

On the other hand, the waste produced by construction and demolition is not the only harmful and negative factors for the environment. The existing tendency to discard the old and consume new material means a very important degradation on nature. Especially in case of production of concrete, being cement the most consumed material in the construction sector (Gutiérrez de López, L., 2003; Conama, 2018). The production of this material involves the continuous obtaining of stone material in quarries, together with industrial processes of high energy demand that represent a high percentage of CO2 emissions into the atmosphere produced by human activity. However, this is not the only material with a high presence in construction and demolition waste. Also, other materials that can be found frequently are wood, ceramic materials, glass, metals and plaster, among others.

In this line of search for a more sustainable system, the Waste Framework Directive aims to reach 70% of recycled C&D waste by 2020 (Web 1; (Hamidreza, Burman&Braimah, 2019; European Environmental Agency, 2002; Congreso Nacional del Medio Ambiente, 2018)

This is the reason why the European Professional Development Fund and the INTERREG Europe organization founded the CONDEREFF project in 2018, aiming to promote waste management policies in the construction and demolition sector in territorial policies, strengthening and directing the use of resources towards a circular economy model, whose approach can be seen in figure 2. The project proposes to support and strengthen the capacity of the authorities to introduce themselves to C&D waste management regulations, in fields of public relevance such as restrictions on landfills, improvements to recycling facilities or environmental awareness.



Fuente 2. ec.europa.eu. / *Source 2. ec.europa.eu*

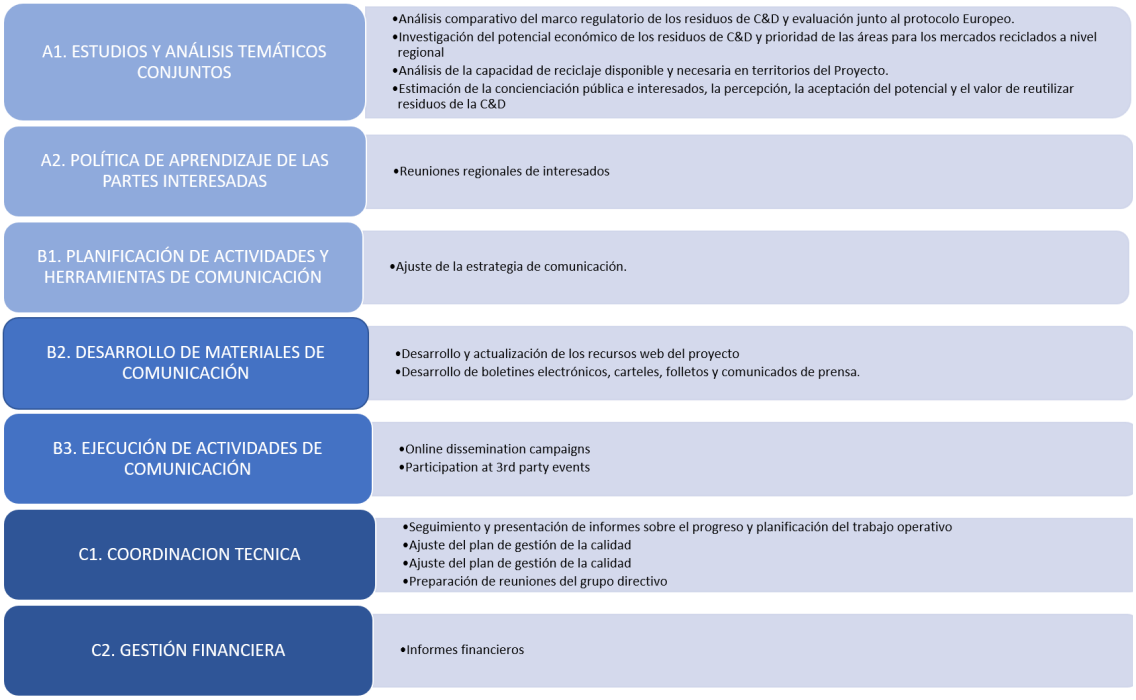
Objetivos del proyecto

Teniendo en cuenta la situación en la que se encuentra el desarrollo de la gestión de residuos en todo el mundo y especialmente en Europa, el objetivo de CONDEREFF (Web 2) es fortalecer las capacidades regionales para aumentar las tasas de reciclaje y reutilización de los residuos de C&D en las regiones que participan en el proyecto. Para ello, en el proyecto están trabajando 8 socios de 7 países de la UE con el objetivo de analizar el contexto de RCD en cada una de las regiones, entender los riesgos y alcanzar una visión clara sobre las limitaciones y oportunidades con las que trabajar para poder llegar a la mejor solución posible en cada región. Así, de forma conjunta se pretende reflexionar en la forma en que se diseñan, producen, utilizan y desechan los productos, materiales y recursos, para implantar las mejores prácticas en cuanto a la gestión de los residuos.

La realización del proyecto se divide en dos fases. La primera, que comenzó en junio de 2018, se centra en estudios y análisis de los sistemas de gestión de los RCD en cada una de las regiones de los 8 socios del proyecto, contemplando los recursos y las herramientas disponibles en cada uno de éstos.

En segundo lugar, el proyecto plantea una fase cuyo objetivo se centra en implementar una serie de planes de acción con el objetivo de alcanzar las mejores soluciones para la gestión más eficaz de los RCD, aplicando la mejor metodología para cada una de las regiones, aunque siempre con el respaldo aportado por el proyecto Condereff.

El proyecto cuenta desde su fundación con una programación de los procesos que debe cumplimentar para aspirar a la conclusión deseada. Esta programación se puede apreciar en la figura 3.



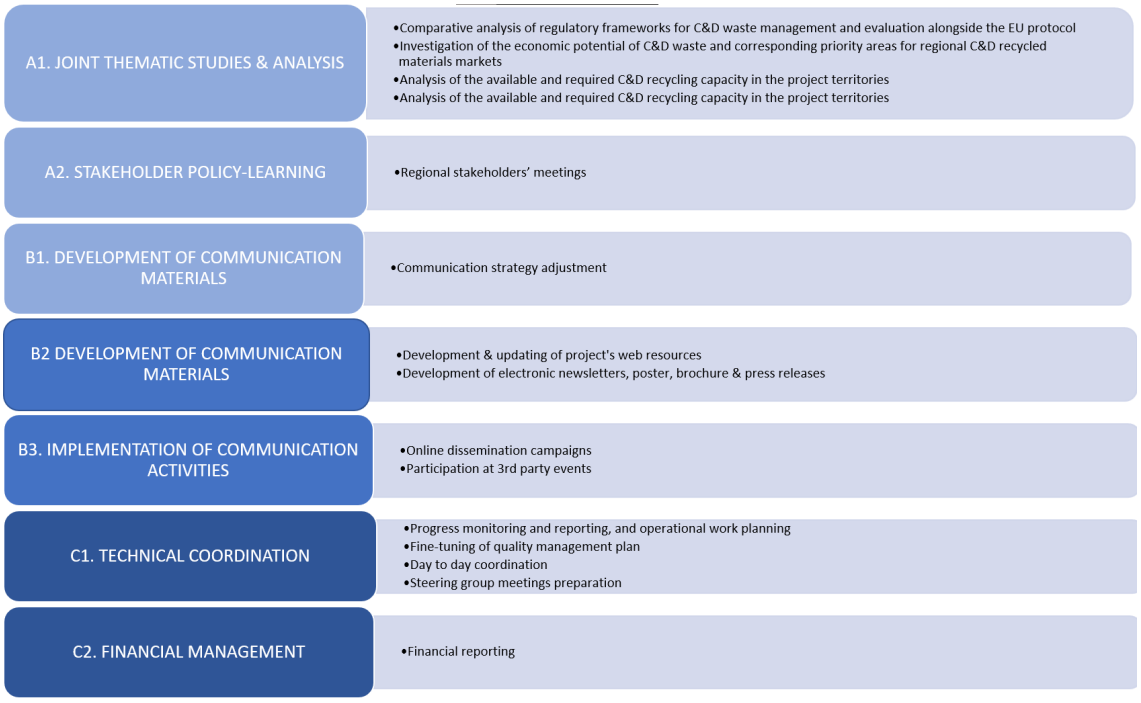
Project Objectives

Taking into account the situation in which the development of waste management is involved around the world and especially in Europe, the objective of CONDEREFF(Web 2) is to strengthen regional capacities to increase the recycling and reuse rates of C&D waste in the regions participating in the project. For this, 8 partners from 7 EU countries are working on the project to analyze the context of CDW in each of the regions, understanding the risks and reaching a clear vision of the limitations and opportunities with which to work to be able to reach the best possible solution in each region. Thus, together they intend to reflect on how products, materials and resources are designed, produced, used and disposed of, to implement the best practices in terms of waste management.

The development of the project is divided into two phases. The first, which began in June 2018, focuses on studies and analysis of the RCD management systems in each of the regions of the 8 project partners, considering the resources and tools available in each of them.

Second, the project proposes a phase whose objective is focused on implementing a series of action plans to achieve the best solutions for the most effective management of the RCD, applying the best methodology for each of the regions, although always with the support provided by the Condereff project.

Since its foundation, the project has a schedule of the processes that must be completed to aspire to the desired conclusion. This programming can be seen in figure 4.

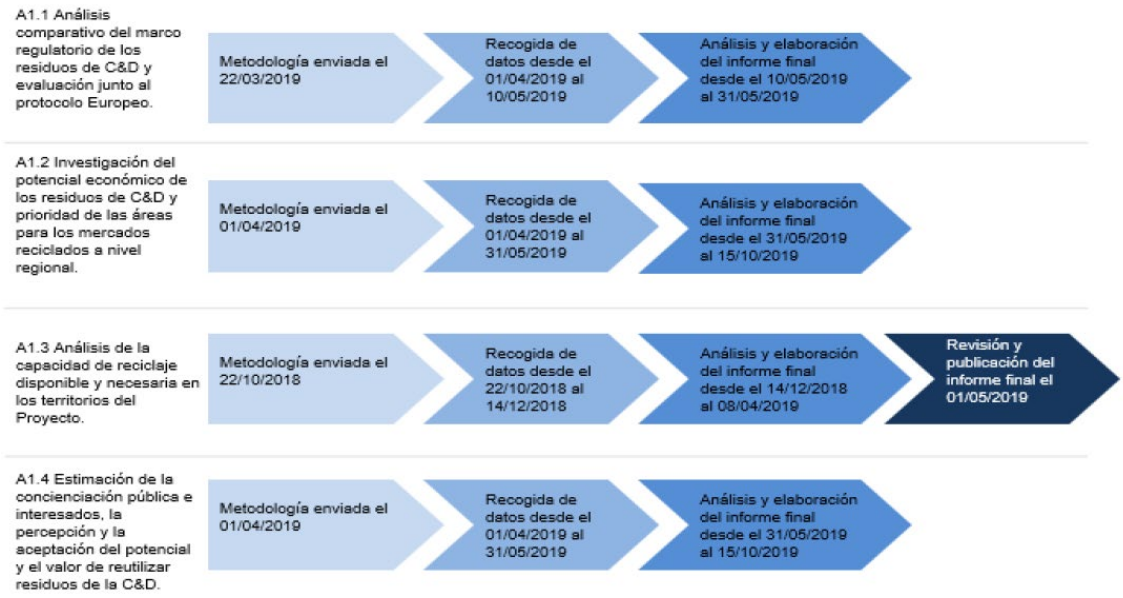


Desarrollo del proyecto

Es importante tener en cuenta que, de los 7 procesos que se pueden apreciar en la figura 3, el primero es el que requiere una mayor elaboración, al ser el principal proceso de búsqueda, investigación y análisis.

De esta forma, en la actualidad, el proyecto se encuentra en la primera fase, en la que está desarrollando dichos análisis, con el objetivo de poder localizar los elementos comunes de la gestión actual del RCD en cada una de las regiones, y poder así plantear soluciones que se ajusten a las características de todos los socios del proyecto.

El esquema de los pasos a seguir en este desarrollo se puede apreciar en la figura 3.



Desarrollo actual

Actualmente, el proyecto se encuentra en el proceso de desarrollo de la actividad A1.2. centrado en la "Investigación del Potencial económico de los residuos de C&D y prioridad de las áreas para los mercados de reciclaje a nivel regional".

En este proceso, a partir de determinadas encuestas se pretende identificar la demanda de reutilización de los residuos de C&D, así como las cantidades aproximadas de residuos de C&D generados en cada uno de los territorios encuestados.

De esta forma, el objetivo de estas encuestas se centra en poder extraer un análisis de dos principales tópicos:

- Cuáles son las principales políticas de cada región que promueven el reciclaje y la reutilización de los residuos de Construcción y Demolición
- Asimilar la demanda económica y la envergadura del mercado de los diversos materiales residuales reciclados de la construcción y demolición.

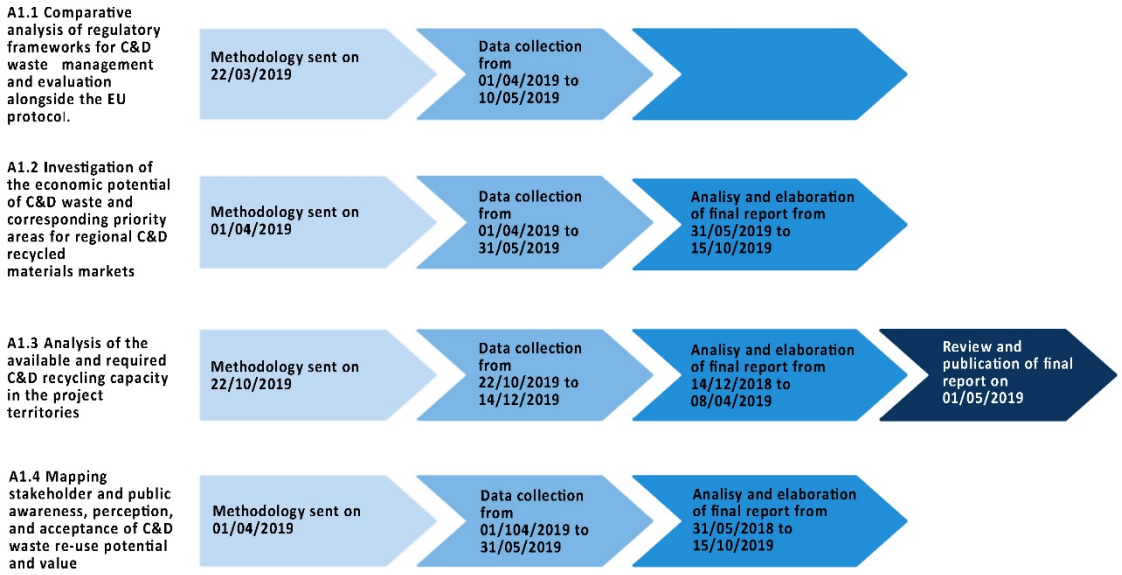
Una vez realizadas las encuestas a las partes afectadas, tanto a los socios del proyecto como de los interesados en él, las conclusiones que se han podido determinar son las siguientes:

Project development

It is important to bear in mind that, from the 7 processes that can be seen in figure 2, the first one is the one that requires further elaboration, as it is the main search, research and analysis process.

In this way, currently the project is in the first phase, in which it is developing said analysis, to be able to locate the common elements of the current management of the RCD in each of the regions, and thus be able to propose solutions that fit the characteristics of all project partners.

The outline of the steps to follow in this development can be seen in figure 3.



Current development

Currently, the project is in the process of developing activity A1.2. focused on the "Investigation of the economic potential of C&D waste and priority of the areas for the recycling markets at a regional level".

In this process, based on certain surveys, is intended to identify the demand for reuse of C&D waste, as well as the approximate amounts of C&D waste generated in each of the surveyed territories.

In this way, the objective of these surveys is focused on being able to extract analysis of two main topics:

- What are the main policies of each region that promote the recycling and reuse of Construction and Demolition waste
- Assimilate the economic demand and the size of the market for the various recycled waste materials from construction and demolition.

Once the affected parties have been surveyed, both the project partners and those interested in it, the conclusions that have been determined are:

Por parte de los socios del proyecto:

- En las regiones de Lacio y en Rhone-Alpes, los residuos de C&D no clasificados (suelos, piedras y materiales aislantes) son los más destacados.
- La región con una política de recuperación mas alta de todas las planteadas es la región de Sajonia-Anhalt, con una tasa de porcentaje del 96%.
- Los segmentos más comunes en cuanto a géneros relativos a los residuos de C&D son, en primer lugar la generación y recolección de residuos, seguido del tratamiento de residuos, incluyendo reciclaje. Por último se tienen en cuenta los sectores que utilizan materiales de residuos reciclados o reutilizados.
- Generalmente, el tipo de aplicación más común para materiales áridos reciclados son aplicaciones de bajo rendimiento como cimentaciones o bases de carreteras.
- El mayor cliente de materiales reutilizados para el C&D es la industria de construcción de carreteras, siendo el sector con mayor versatilidad y capacidad para aplicar el uso de este material.

Por parte de los interesados en el proyecto:

- Los materiales con mayor potencial económico son los agregados, el cemento, los ladrillos y el yeso.
- Existe una previsión de que el mayor beneficio de la explotación de residuos reciclados pueda deberse a la reducción de costes.
- Es necesario un mayor apoyo gubernamental a este tipo de actuaciones, junto con un incremento de los criterios para la gestión de los residuos, y una mayor supervisión y regulación en el reciclaje y la reutilización.

Conclusión

Teniendo en cuenta las exigencias medioambientales que se dan actualmente en todo el mundo, debido a la urgente necesidad de aplicar las acciones humanas a un sistema lo más limpio posible, es indispensable comenzar a aplicar el reciclaje de materiales de C&D en las nuevas construcciones. De esta forma, fomentar una tendencia de cara al futuro a que se apliquen normativas cada vez más estrictas de aplicaciones de sistemas de construcción sostenible centradas en el reciclaje.

A partir de numerosas encuestas y análisis, el proyecto Condereff está localizando los aspectos más relevantes a tener en cuenta para fomentar el uso de políticas de gestión adecuada de los residuos en el sector de la construcción y la demolición.

Agradecimientos:

Este trabajo se llevó a cabo en la Universitat Politècnica de València en el marco del proyecto CONDEREFF (Ref. PGI05560-CONDEREFF). Los autores agradecen profundamente a la Universitat Politècnica de Valencia y a todas las personas y organizaciones implicadas en este proyecto su apoyo y, especialmente, a la Comisión Europea por su provisión de financiación.

On the part of the project partners:

- In the Lazio and Rhone-Alpes regions, unsorted C&D waste (soils, stones and insulating materials) is the most prominent.
- The region with the highest recovery policy of all those proposed is the Saxony-Anhalt region, with a percentage rate of 96%.
- The most common segments in terms of genres related to C&D waste are, firstly waste generation and collection, followed by waste treatment, including recycling. Finally, the sectors that use recycled or reused waste materials are taken into account.
- Generally, the most common application type for recycled aggregate materials are low-performance applications such as foundations or road bases.
- The largest customer of reused materials for C&D is the road construction industry, being the sector with the greatest versatility and capacity to apply the use of this material.

By those interested in the Project:

- The materials with the greatest economic potential are aggregates, cement, bricks and plaster.
- There is a forecast that the greatest benefit from the exploitation of recycled waste may be due to the reduction of costs.
- Greater government support for this type of action is necessary, together with an increase in the criteria for waste management, and greater supervision and regulation of recycling and reuse.

Conclusion

Considering the environmental demands that currently exist around the world, due to the urgent need to apply human actions to a system that is as clean as possible, it is essential to start applying the recycling of C&D materials in new constructions. In this way, foster a trend for the future to apply increasingly stringent regulations for applications of sustainable building systems focused on recycling.

Based on numerous surveys and analysis, Condereff project is identifying the most relevant aspects to take into account in order to promote the use of adequate waste management policies in the construction and demolition sector.

Acknowledgment:

This work was carried out at the Universitat Politècnica de València in the framework of CONDEREFF project (Ref. PGI05560-CONDEREFF). The authors deeply thank the Universitat Politècnica de Valencia and all people and the organizations involved in this project for their support and, especially, to the European Commission for their funding provision.

Bibliografía / Bibliography

- Conama, Grupo de trabajo GT-6 (2018). Economía circular en el sector de la construcción. Comunicación presentada al Congreso Nacional del Medio Ambiente de 2018.
- European Environmental Agency (EEA) (2002). Review of Selected Waste Streams. TechnicalReport No. 69. EuropeanEnvironmental Agency, Copenhagen, Denmark.
- Gutiérrez de López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Departamento de Ingeniería Civil.
- Hamidreza Ghaffar, S.; Burman, M.; Braimah, N. (2019). Pathways to circular construction: An integrated management ofconstruction and demolition waste for resource recovery. Journal of cleaner Production. 244.
- Web 1 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=LEGISSUM%3Aev0010
- Web 2. CONDEREFF project. https://www.interregeurope.eu/condereff/

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS EN LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE IMPACT OF AGRICULTURE ACTIVITIES IN ENERGY SUSTAINABILITY OF THE VALENCIAN COMMUNITY.

Elisa Peñalvo López
Investigadora en el Instituto de Ingeniería Energética; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesora Ayudante Doctor, Doctora en Ingeniería Industrial por la UPV
E-mail: elpealpe@upvnet.upv.es
Researcher at the Institute for Energy Engineering; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain. Assistant Professor. PhD in Industrial Engineering, UPV
E-mail: elpealpe@upvnet.upv.es

Javier Cárcel-Carrasco
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es
Researcher at the Institute of Materials; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain. PhD in Industrial Engineering, UPV .E-mail: fracarc1@csa.upv.es

Vicente León Martínez
Investigador en el Instituto de Ingeniería Energética; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Catedrático de Escuela Universitaria, Doctor en Ingeniería Industrial por la UPV
E-mail: vleon@die.upv.es
Researcher at the Institute for Energy Engineering; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain. Associated Professor. PhD in Industrial Engineering, UPV
E-mail: vleon@die.upv.es

Joaquín Montañana Romeu
Investigador en el Instituto de Ingeniería Energética; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Catedrático de Escuela Universitaria, Doctor en Ingeniería Industrial por la UPV
E-mail: jmontanana@die.upv.es
Researcher at the Institute for Energy Engineering; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain. Associated Professor. PhD in Industrial Engineering, UPV
E-mail: jmontanana@die.upv.es

Abstract

This article presents the methodology proposed for determining the power consumption and carbon footprint of agricultural farms. It analyses the different sources of emissions that occur in farming activities, both direct and indirect emissions, as well as the CO2 absorption capacity of the crops. It also includes the validation of the methodology in a case study based in the Valencian Community, which allows determining the carbon footprint of any crop (food or energy oriented), in order to jointly assess the impact of agricultural management on GHG emissions, energy consumption and sustainable development of the food sector.

Keywords
Energy Sustainability, CO2 Emissions, Agriculture, Crops, Citrus, Valencian Community

Introducción

El consumo energético mundial y, por consiguiente, las emisiones GEI siguen aumentando a pesar de los esfuerzos en reducirlas. Existen muchas iniciativas centradas en los sectores grandes consumidores de energía: Generación de Electricidad y Transporte, pero no tantas en Agricultura. Sin embargo, la agricultura es uno de los sectores más afectados por el cambio climático debido al aumento de la temperatura, los cambios en la estacionalidad, la variabilidad de las precipitaciones, y sobre todo, los episodios de clima extremo, como sequías o grandes tormentas [1] Además, se prevé que la población mundial alcance los 8.500 millones en 2030 y los 9,2 billones de personas para el 2050, lo que implica un incremento considerable de la demanda alimenticia, estimada en un 70% según la *United Nations Food and Agriculture Organisation (FAO)*, y por consiguiente, un aumento de los gases de efecto invernadero asociados a las actividades agrícolas [2, 8]. Por consiguiente, el crecimiento económico debe estar basado en políticas de sostenibilidad y el uso eficiente de los recursos naturales, donde la humanidad tiene la capacidad para lograr un "desarrollo sostenible", al que se define como aquel que "*garantiza las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*" [1].

El rápido y continuo crecimiento de la población plantea retos en este desarrollo sostenible, demandando el uso de nuevos métodos de producción y gestión agrícola que permitan mejorar los rendimientos en comparación con la agricultura tradicional, reduciendo el impacto sobre el medioambiente y promoviendo nuevos modelos de adaptación al cambio climático. En este sentido, la digitación de la agricultura supone una oportunidad para la resiliencia al cambio climático y la decarbonización del sector con nuevos servicios centrados en la monitorización de la climatología, la agricultura de precisión y la incorporación de tecnologías renovables en las explotaciones agrícolas [3, 4].

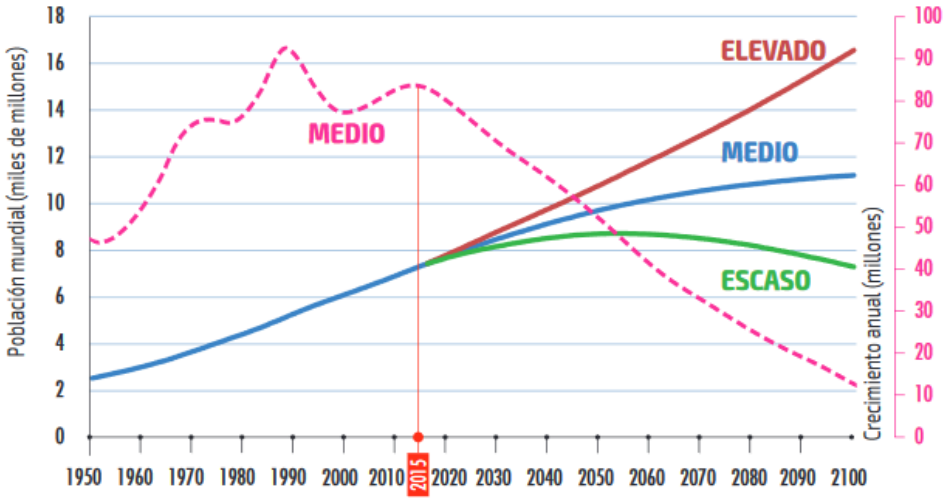


Fig. 1: Escenarios de Crecimiento Demográfico Mundial para 2100 (World Population Prospects)[5, 8]

La consecución de este enfoque sostenible al ámbito energético implica garantizar el suministro de energía primaria y su transformación a energía útil, tanto para la presente como para generaciones futuras, y todo ello sin producir un impacto ambiental significativo dado que el deterioro del medio ambiente también pondría en peligro a las futuras generaciones [6, 7].

Objetivos

[1]Comisión mundial para el desarrollo del medio ambiente ("Comisión Brundtland"), 1987. Informe Brundtlandt "Nuestro futuro común".

El objetivo principal de este estudio es desarrollar una metodología para analizar el impacto de las actividades en explotaciones agrícolas en la sostenibilidad energética y evaluar las posibilidades de este sector para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir a las exigencias del compromiso de Kioto de reducción de emisiones.

Para su consecución se marcaron los siguientes objetivos secundarios:

- Analizar la situación energética actual del sector agrícola en la Comunidad Valenciana, identificar la demanda de energía final y la contribución de cada fuente de energía al sector agroclimentario en base a los datos de la Agencia Internacional de la Energía y la Agencia Valenciana de Energía de la Comunidad Valenciana [9, 10].
- Proporcionar una metodología que permita a los agricultores evaluar el impacto de su gestión sobre la emisión de los Gases de Efecto Invernaderos (GHG), utilizando como base los protocolos de evaluación que existen actualmente [11, 14, 15, 19, 20, 21, 22, 23], las iniciativas y proyectos relacionados con la emisión y captación de CO_2 en la agricultura [13,16, 17] y el consumo de recursos naturales en las actividades agrícolas [12, 18, 24, 25].
- Dar a conocer al sector agrícola su potencial como sumidero de CO_2 con un ejemplo de aplicación.

Introduction

Global energy consumption and, consequently, GHG emissions continue to increase despite efforts to reduce them. There are many initiatives focused on the major energy consuming sectors: Power Generation and Transportation, but not so many, in Agriculture. However, agriculture is one of the most affected sectors by climate change due to the increase in temperature, changes in seasonality, rainfall variability and, above all, extreme weather events, such as droughts or major storms [1]. In addition, it is estimated that population will reach 8500 million people in 2030 and 9.2 billion people by 2050, which implies a considerable increase in food demand, estimated at 70% according to the United Nations Food and Agriculture Organisation (FAO), and consequently, an increase in greenhouse gases associated with agricultural activities [2, 8]. Therefore, economic growth must be based on sustainability and efficient use of natural resources policies, where humanity has the capacity to achieve "*sustainable development*", defined as "*guarantees the needs of the present without compromising the possibilities of future generations to meet their own needs*"[1].

The rapid and continuous growth of the population brings new challenges in this sustainable development, demanding the use of new methods of agricultural production and management to improve yields compared to traditional agriculture, reducing the impact on the environment and promoting new models of adaptation to climate change. In this sense, the digitization of the agriculture represents an opportunity for resilience to climate change and decarbonization of the sector with new services focused on climatology monitoring, precision agriculture and the incorporation of renewable technologies in farms [3, 4].

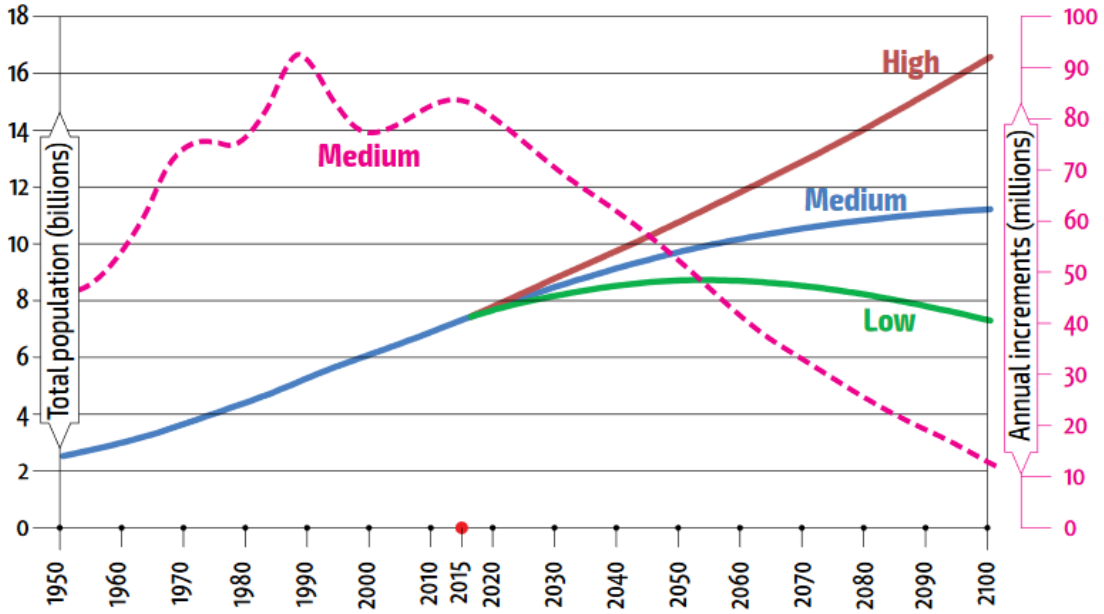


Fig. 1: Scenarios of Global Population Growth to 2100 (World Population Prospects)[5]

Achieving this sustainable approach to the energy context implies guaranteeing the supply of primary energy and its transformation into useful energy, both for the present and future generations, and all this without producing a significant environmental impact since the deterioration of the environment would also endanger future generations [6, 7].

Objectives

The main objective of this study is to develop a methodology for analyzing the impact of on-farm activities on energy sustainability and evaluating the potential of this sector to mitigate greenhouse gas emissions and contribute to the requirements of the Kyoto commitment.

To achieve this, the following secondary objectives were defined:

- Analyze the actual energy situation of the agricultural sector in the Valencian Community, identify the final energy demand and the contribution of each energy source to the agri-food sector based on data from the International Energy Agency and the Valencian Energy Agency of the Valencian Community [9, 10].
- Develop a methodology that allows farmers to assess the impact of their management on the emission of Greenhouse Gases (GHG), using as a basis the assessment protocols that currently exist [11, 14, 15, 19, 20, 21, 22, 23], initiatives and projects related to CO_2 emission and sequestration in agriculture [13,16,17] and the consumption of natural resources in agricultural activities [12, 18, 24, 25]
- Promote the assessment of CO_2 in the agricultural sector and its potential as a CO_2 sink with an example of application.

Desarrollo del Trabajo

La evolución energética de la Comunidad Valenciana ha ido en aumento hasta el 2007, donde se produjo un descenso, principalmente motivado por la recesión económica de la región. Los valores de energía final y primaria manifiestan una significativa disminución hasta el 2010, donde la mejora de datos económicos muestra un estancamiento de los datos del 2009 y 2010. Únicamente se mantiene el descenso en las emisiones de CO_2, debido principalmente a la recesión económica y el aumento de la contribución de las renovables en grandes sectores como el industrial o la generación de electricidad. Sectores como el agrícola, todavía no han desarrollado todo su potencial en la instalación de tecnologías de limpias de generación y uso de la energía. Los cultivos son una fuente óptima de almacenamiento de CO_2, basado en la fotosíntesis, que también puede ser aprovechado.

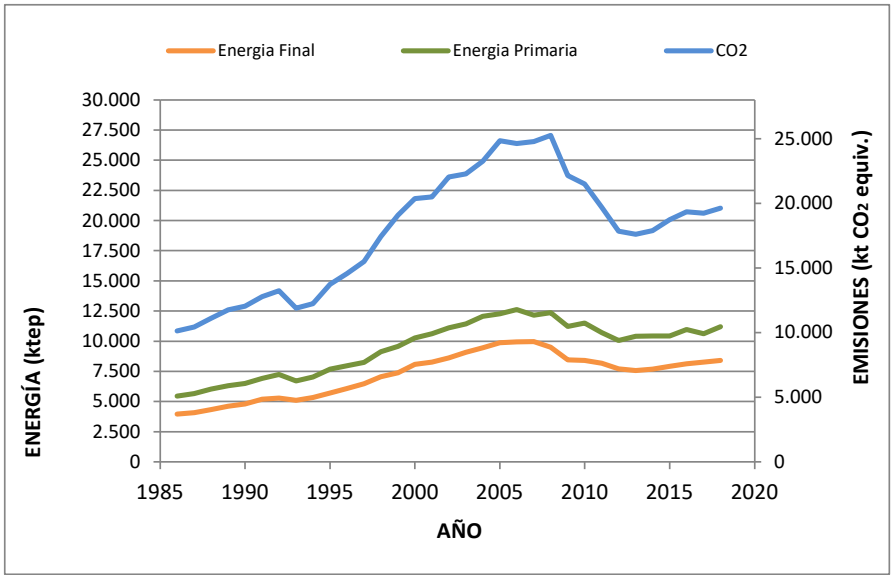


Fig. 1: Evolución histórica de emisiones de CO2 en la Comunidad Valenciana (1986-2018)

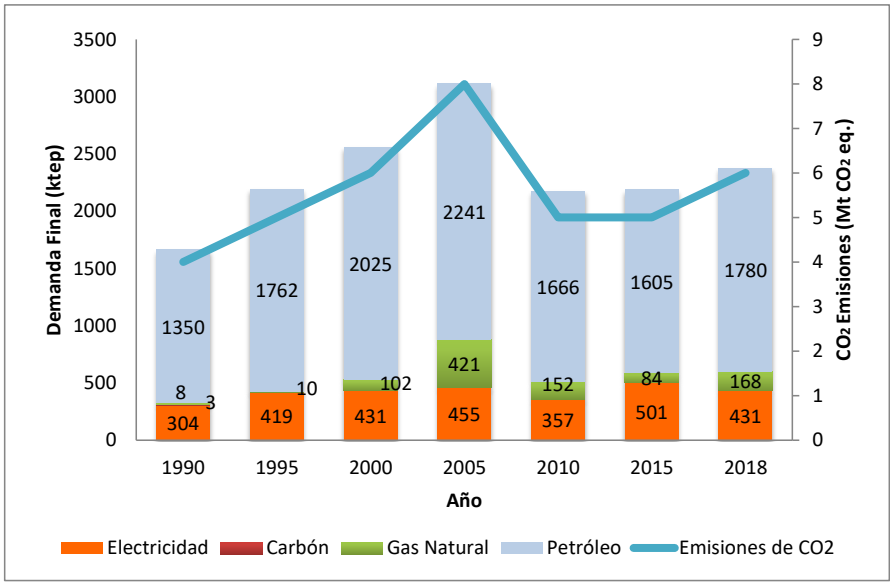


Fig. 2: Contribución de cada fuente energética al Sector Agrícola (1990-2018)

Tabla 1: Consumo de Energía Final por Fuente y Emisiones de CO_2 eq.

Año	Consumo de Energía Final	Electricidad	Carbón	Gas Natural	Petróleo	Emisiones de CO_2
1990	1668	304	8	3	1350	4
1995	2193	419	0	10	1762	5
2000	2560	431	0	102	2025	6
2005	3095	455	0	421	2241	8
2010	2229	357	0	152	1666	5
2015	2258	501	0	84	1605	5
2018	2440	431	0	168	1780	6
				Unidades: ktep		Unidades: Mt CO2 eq.

Seguidamente, la evaluación de la huella de carbono se estructura en dos bloques: Emisión y Captación de CO_2.

La evaluación de las emisiones del cultivo se realiza utilizando las técnicas de análisis del ciclo de vida especificadas en las normas ISO 14040, ISO 14044, ISO 1464-1:2006 y el GHG Protocol así como en las especificaciones PAS 2050, desarrolladas por la "British Standards Institution", donde se diferencia entre dos tipos de ciclos de vida: "Business to Business (B2B)" y "Business to Customer (B2C)". La metodología propuesta utilizada es el ciclo de vida B2B, ya que el objetivo es determinar las emisiones de CO_2 atribuidas al agricultor en base a su gestión del cultivo en un campo concreto.

Se diferencia entre dos tipos de emisiones, directas e indirectas, según su procedencia. Entre las directas se incluyen la preparación del terreno y operaciones agrícolas, fertilización, biomasa, transporte y recolección, mientras que en las indirectas se encuentran el riego por goteo, fertilización y tratamiento fitosanitarios.

Por otro lado, la absorción de gases de efecto invernadero depende principalmente de las características genéticas propias del cultivo, de las condiciones de crecimiento (edafo-climatológicas) y del manejo del cultivo, por lo que un análisis detallado requiere de datos propios de la comarca o zona de estudio. Para este análisis se han utilizado datos experimentales de fijación de CO_2 obtenidos de publicaciones científicas y proyectos de investigación realizados para tal fin, creando una base de datos de coeficientes de fijación de CO_2 por cultivo y zona geográfica.

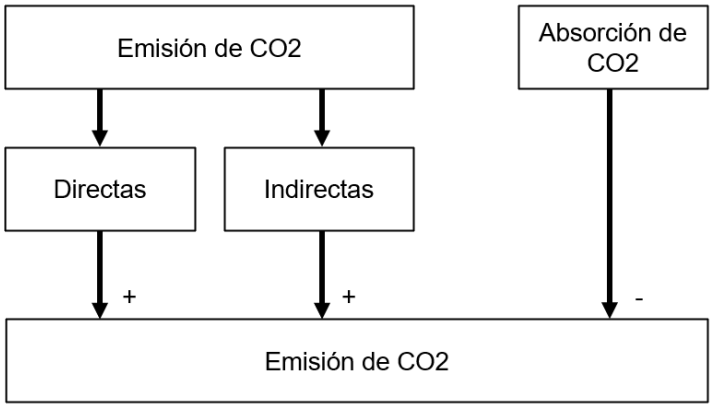


Fig. 3: Metodología de cálculo de emisiones de CO2

Development

The energy evolution of the Valencian Community has been increasing until 2007, when there was a decrease, mainly due to the economic recession of the region. The values of final and primary energy show a significant decrease until 2010, where the improvement of economic data shows a stagnation of the 2009 and 2010 data. Only the decrease in CO_2 emissions is maintained until 2012, mainly due to the economic recession and the increase in the contribution of renewables in large sectors such as industry or electricity generation. Sectors such as agriculture have not yet developed their full potential in the installation of clean energy generation and use technologies. Crops are an optimal source of CO_2 storage, based on photosynthesis, which can also be harnessed.

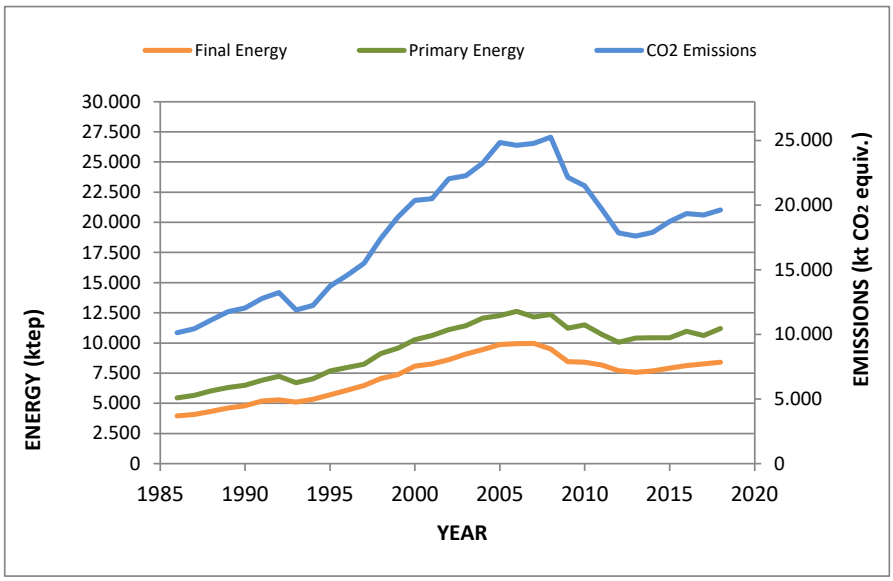


Fig 1. Historical evolution of CO2 emissions in the Valencian Region [9, 10]

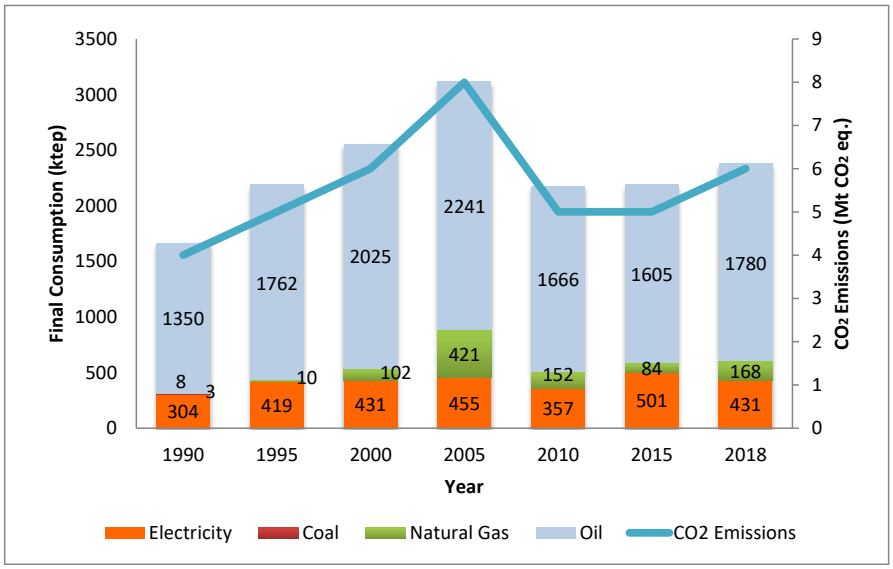


Fig. 2: Energy Source contribution to Agriculture sector (1990-2018)

Table 1: Final Energy Demand per source and CO_2 Emissions

Year	Final Energy Consumption	Electricity	Coal	Natural Gas	Oil	CO_2 Emissions
1990	304	0	0	0	0	0
1995	419	0	0	0	0	0
2000	431	0	0	0	0	0
2005	455	0	0	0	0	0
2010	357	0	0	0	0	0
2015	501	0	0	0	0	0
2018	431	0	0	0	0	0
					Units: ktep	Units: Mt CO2 eq.

The footprint methodology is then structured in two blocks: Emission and CO_2 sequestration.

The evaluation of crop emissions is carried out using the life cycle analysis techniques specified in the ISO 14040, ISO 14044, ISO 1464-1:2006 and GHG Protocol standards, as well as in the PAS 2050 specifications developed by the British Standards Institution, where a distinction is made between two types of life cycles: "Business to Business (B2B)" and "Business to Customer (B2C)". The proposed methodology used is the B2B life cycle, since the objective is to determine the CO2 emissions attributed to the farmer based on his management of the crop in a specific field.

A distinction is made between two types of emissions, direct and indirect, depending on their origin. Direct emissions include land preparation and agricultural operations, fertilization, biomass, transport and harvesting, while indirect emissions include drip irrigation, fertilization and phytosanitary treatment.

On the other hand, the absorption of greenhouse gases depends mainly on the genetic characteristics of the crop, growing conditions (soil and climate) and crop management, so a detailed analysis requires data specific to the region or area under study. For this analysis we have used experimental data on CO2 fixation obtained from scientific publications and research projects carried out for this purpose, creating a database of CO2 fixation coefficients by crop and geographical area.

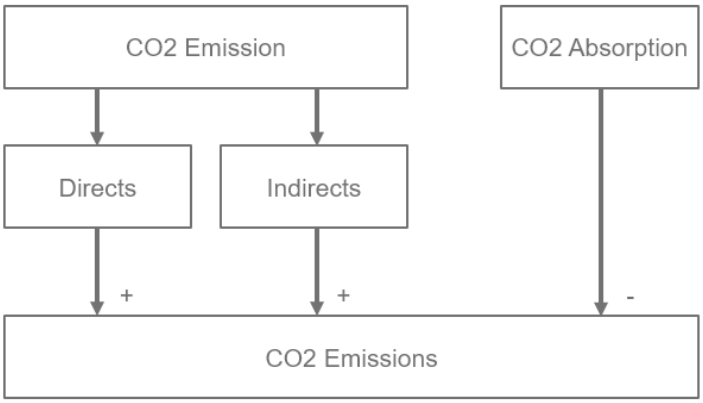


Fig. 3: Methodology for calculating CO2 emissions

Resultados

El análisis de resultados en cítricos de la Comunidad Valenciana se puede dividir en dos apartados siguiendo la metodología anteriormente expuesta: emisión y absorción de CO_2.

En cuanto a emisiones directas de CO_2 se ha comprobado que la fertilización representa la actividad que más emisiones conlleva, como se puede observar en la Fig. 4, seguido del transporte y de las operaciones agrícolas. Resulta de especial interés el caso de biomasa, con una emisión nula de CO_2 debido a que el propio producto utilizado es el encargado de absorber mediante fotosíntesis en etapas anteriores a la quema del mismo. Sin embargo, la quema de los residuos biomásicos es contaminante a la atmósfera, por lo que una práctica más sostenible será la valorización energética de los mismos.

En el apartado de emisiones indirectas cabe destacar que la composición del fertilizante y de tratamientos fitosanitarios, con altas cantidades de Nitrógeno y su posterior conversión a CO_2 equivalente son los principales emisores de CO_2, mientras que el producido por consumo de electricidad es escaso.

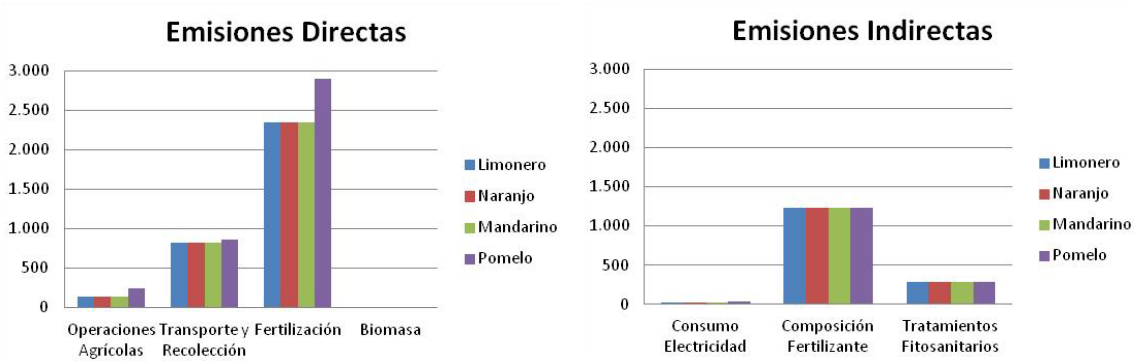


Fig. 4: Emisiones de CO_2 en limonero, naranjo, mandarino y pomelo

Respecto a la absorción de CO_2 (Tabla 2), se ha comprobado que el pomelo es el mejor cítrico de entre los casos estudios, con una absorción de CO_2 de 134 kg CO_2 eq./árbol·año, seguido del limonero, el naranjo y el mandarino. Además, debido al marco de plantación utilizado, presenta una densidad de plantación mayor que el limonero, por ejemplo, haciendo de este un cultivo muy interesante.

Tabla 2: Captación de CO2

CULTIVO	Absorción de CO2 (kg CO_2 eq./árbol, año)	Densidad de Plantación (árboles/m^2)	Fijación CO2 (kg CO_2 eq./ha, año)
Limonero	107	0,028	29.941
Naranjo	49	0,042	20.725
Mandarino	31	0,042	13.062
Pomelo	134	0,042	56.350

Por último, el balance final de CO_2 (Tabla 3) muestra nuevamente que el cultivo que menos emisiones de CO_2 netas emite a la atmósfera es el pomelo, con un balance negativo del doble que su seguidor, el limonero. El naranjo y el mandarino también muestran un balance negativo, es decir, absorben más que emiten. Sin embargo, esta cantidad es significativamente inferior a los dos casos anteriores.

Tabla 3: Balance de CO2

CULTIVO	EMISIÓN de CO2 (kg CO2 eq./ha, año)	CAPTACIÓN de CO_2 (kg CO2 eq./ha, año)	BALANCE (kg CO2 eq./ha, año)
Limonero	*4.842*	*29.941*	*-25.099*
Naranjo	*4.842*	*20.725*	*-15.882*
Mandarino	*4.842*	*13.062*	*-8.220*
Pomelo	*5.551*	*56.350*	*-50.800*

Results

The analysis of the results in citrus in the Valencian Community can be divided into two sections following the methodology described above: CO_2 emissions and CO_2 absorption.

In terms of direct CO_2 emissions, it has been found that fertilization represents the activity with the highest emissions, as can be seen in Fig. 4, followed by transport and agricultural operations. Of particular interest is the case of biomass, with zero CO_2 emissions due to the fact that the product itself is responsible for absorbing CO_2 through photosynthesis in stages prior to burning. However, the burning of biomass waste is an atmospheric pollutant, so a more sustainable practice would be the energetic valorization of such residue.

In the section on indirect emissions, it should be noted that the composition of fertilizer and phytosanitary treatments, with high amounts of nitrogen and its subsequent conversion to CO_2 equivalent are the main emitters of CO_2, while the CO_2 produced by electricity consumption is scarce.

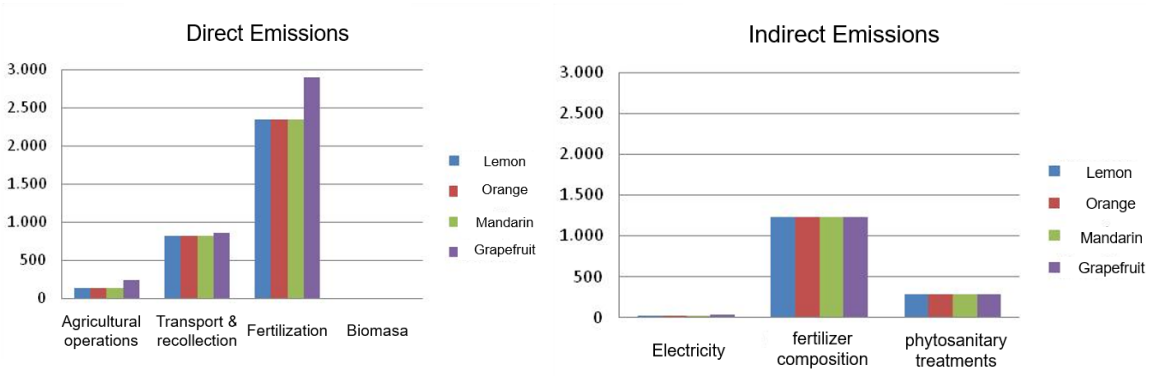


Fig. 4: Emisiones de CO2 en limonero, naranjo, mandarino y pomelo

Regarding CO_2 absorption (Table 2), it was found that grapefruit is the best citrus fruit among the case studies, with a CO_2 absorption of 134 kg CO_2 eq./tree-year, followed by lemon, orange and mandarin. In addition, due to the planting framework used, it has a higher planting density than the lemon tree, for example, making it a very interesting crop.

Table 2: CO_2 Absorption

CROP	CO2 Absorption *(kg CO2 eq./tree year)*	Planting density *(trees/m3)*	CO2 Fixation *(kg CO2 eq./ha·year)*
Lemon	107	0,028	29.941
Orange	49	0,042	20.725
Mandarin	31	0,042	13.062
Grapefruit	134	0,042	56.350

Finally, the final CO_2 balance (Table 3) again shows that the crop that emits the least net CO_2 emissions to the atmosphere is grapefruit, with a negative balance twice that of its follower, the

lemon tree. Orange and mandarin also show a negative balance, i.e., they absorb more than they emit. However, this amount is significantly lower than in the two previous cases.

Table 3: CO_2 Balance

CROP	CO2 Emission (kg CO2 eq./tree year)	CO2 Absorption (kg CO2 eq./tree year)	Balance (kg CO2 eq./ha, año)
Lemon	4.842	29.941	-25.099
Orange	4.842	20.725	15.882
Mandarin	4.842	13.062	-8.220
Grapefruit	5.551	56.350	-50.800

Conclusiones

- El sector económico Agricultura y Pesca supone alrededor del 11% de las emisiones GEI de nuestro país
- El sector agrícola posee un gran potencial de introducción de las energías renovables en las explotaciones agrícolas.
- El sector agrícola posee un gran potencial por su capacidad de absorción de CO_2 para actuar en la compensación de emisiones, además de en transporte con el uso de biocombustibles, y en generación de electricidad a través del uso de biomasa y solar fotovoltaica.
- Es necesario evaluar desde el punto de vista de emisiones GEI los cultivos agrícolas (tradicionales y energéticos) para analizar el alcance de este potencial.
- Para lo cual se ha definido y desarrollado una metodología que permite cuantificar el potencial de reducción de emisiones en las explotaciones agrícolas como punto de partida para la evaluación de medidas energéticas más sostenibles.
- La aplicación de la metodología a un caso concreto ha revelado algunos resultados sorprendentes (Pj. el cultivo del pomelo que a pesar de ser el cultivo que más emite, también es el que más absorbe).
- Se estima que el ahorro de emisiones que proporcionan los cítricos de la CV es 2,5 veces las emisiones provenientes del consumo energético del sector Agricultura y Pesca, y compensa en un 10% las emisiones totales de la Comunidad.

Conclusions

- Agriculture and Fisheries economic sector accounts for about 11% of our country's GHG emissions.
- The agricultural sector has great potential for the introduction of renewable energies on farms.
- The agricultural sector has great potential for its CO2 absorption capacity to act in offsetting emissions, as well as in transportation with the use of biofuels, and in electricity generation through the use of biomass and solar photovoltaic.
- It is necessary to evaluate agricultural crops (traditional and energy crops) from the point of view of GHG emissions in order to analyze the scope of this potential.
- For this purpose, a methodology has been defined and developed to quantify the emission reduction potential of agricultural farms as a starting point for the evaluation of more sustainable energy measures.
- The application of the methodology to a specific case has revealed some surprising results (e.g. grapefruit cultivation, which, despite being the crop that emits the most, is also the one that absorbs the most).
- It is estimated that the emissions savings provided by citrus fruits in the VC are 2.5 times the emissions from energy consumption in the Agriculture and Fisheries sector, and offset 10% of the Community's total emissions.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro del marco del proyecto de investigación "*Agricultura inteligente basada en la valorización de big data agrícola y digitalización del sector (Agri4.0)*", en colaboración con la empresa VisualNACert dentro del Programa de Ayudas a Proyectos de I+D de PYME (PIDI-CV) del IVACE (MIDTA/2019/50) para la promoción de la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación en la Comunitat Valenciana.

Acknowledgment

This work has been carried out within the framework of the research project "Smart agriculture based on the valorization of agricultural big data and digitization of the sector (Agri4.0)", in collaboration with the company VisualNACert within the Program of Aid for R&D Projects of SMEs (PIDI-CV) of IVACE (MIDTA/2019/50) for the promotion of scientific research, technological development and innovation in the Valencian Community.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

[1] The CAP and climate change | Comisión Europea (europa.eu). https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/sustainability/environmental-sustainability/climate-change_es#theinfluenceofclimatechangeonagriculture, 2021 (accessed 30 March 2021)

[2] United Nations, World Population Prospects: the 2019 version. https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf, 2019 (accessed 3 September 2020).

[3] Solomon Prince Nathaniel, Kürşat Yalçiner, Festus Victor Bekun. "Assessing the environmental sustainability corridor: Linking natural resources, renewable energy, human capital, and ecological footprint in BRICS.", Resources Policy, Vol. 70, 2021, 101924, ISSN 0301-4207, https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101924.(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420720309557).

[4] FAO, 2017. "The Future of Food and Agriculture. Trends and Challenges" Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017.

[5] ONU 2015. World Population Prospects: 2015 revisions (disponible en https://esa.un.org/unpd/wpp). Acceso: noviembre de 2016.

[6] United Nations, Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolutionhttps://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf, 2015 (accessed 3 September 2020).

[7] PCC Working Group III. Climate Change 2014-Mitigation of Climate Change: Synthesis Report Intergovernmental Panel on Climate Change (2014).

[8] United Nations, World Population Prospects: the 2019 version. https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf, 2019 (accessed 3 September 2020).

[9] . Agencia Internacional de la Energía. Publicación web "*Datos Energéticos de España y la UE$_{27}$ para 2018*" (http://www.iea.org/statist/index.htm).

[10] Agencia Valenciana de Energía de la Comunidad Valenciana (AVEN). Informe Anual "Datos Energéticos de la Comunitat Valencia". Año 2018.

[11] Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Libro de trabajo. Módulo 4, Agricultura.

[12] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) "*Consumos energéticos en las operaciones agrícolas en España*". Ed. 2005.

[13] Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino de España (MARM). "Anuario Estadística 2019"

[14] Publicly Available Specification, PAS 2050:2008. "Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emisión of good and services".

[15] Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol). Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte. Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute) y Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (World Business Council for Sustainable Development).

[16] Proyecto LessCO2 – "Agricultura Murciana como Sumidero de CO2". Programa Life + de la Unión Europea.

[17] Proyecto BIOGRACE – "Harmonised Calculations of Biofuel Greenhouse Gas Emissions in Europe". Programa Energy Intelligent for Europe de la Unión Europea.

[18] R. Lal. "Carbon emission from farm operations. Europeans' attitudes towards climate change" (Special Eurobarometer 322 / Wave 72.1 – TNS Opinion & Social), publicado en noviembre de 2009 por la Comisión Europea. Ministerio de Medio Ambiente. Observatorio de Izaña.

[19] UNE-ISO 14064:2006, Gases de efecto invernadero, Parte 1, parte 2 y parte 3.

[20] UNE-EN ISO 14040:2006, Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia.

[21] ISO 14044:2006 - Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Requisitos y directrices

[22] Sotos, M. «GHG Protocol Guidance». Greenhouse Gas Protocol

[23] PAS 2050:2008 Verificación de la Huella de Carbono

[24] Comercio Exterior, "Informe anual de comercio exterior agroalimentario pesquero y forestal," I, pp. 321–332, 2018.

[25] IRENA, Decentralised Solutions in the Agri-Food Chain. 2016

PERFIL ENERGÉTICO DE LAS PYMES EUROPEAS Y PRINCIPALES BARRERAS PARA IMPLANTAR MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA. PROYECTO EUROPEO SMEMPOWER

ENERGY PROFILE IN EUROPEAN SMEs AND MAIN BARRIERS IN IMPLEMENTING ENERGY EFFICIENCY MEASURES. EUROPEAN PROJECT SMEMPOWER

Elisa Peñalvo-López
Doctora por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética de la UPV. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: elpealpe@upvnet.upv.es
Ph D. from the Universitat Politècnica de València. Institute of Energy Engineering of the UPV. Polytechnic University of Valencia. Street: Camino de Vera, 46022 Valencia, Spain. Email: elpealpe@upvnet.upv.es

Javier Cárcel-Carrasco
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es
Researcher at the Institute of Materials; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain. PhD in Industrial Engineering, UPV .E-mail: fracarc1@csa.upv.es

Vicente León Martínez
Investigador en el Instituto de Ingeniería Energética; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Catedrático de Escuela Universitaria, Doctor en Ingeniería Industrial por la UPV
E-mail: vleon@die.upv.es
Researcher at the Institute for Energy Engineering; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain. Associated Professor. PhD in Industrial Engineering, UPV
E-mail: vleon@die.upv.es

Miriam Pérez Herrero
Técnico Superior de Investigación en Instituto de Ingeniería Energética de la UPV. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: mipeher1@etsii.upv.es
Senior Research Technician at the Energy Engineering Institute of the UPV. Polytechnic University of Valencia. Street: Camino de Vera, 46022 Valencia, Spain. Email: mipeher1@etsii.upv.es

Abstract

Energy efficiency in SMEs takes on a prominent role in the context of energy transition in which Europe and, therefore, Spain is immersed. In the dynamics of reducing energy consumption and emissions, as well as economic savings, the European project "SMEmPower Efficiency" arises, within the research and innovation program of the European Union Horizon 2020. Its objective is to support SMEs in 8 European countries, including Spain, to promote and boost energy audits and energy efficiency measures.

The work presented responds to the first phase of the project where a study of the energy profile and the main barriers faced by companies has been carried out. For this purpose, 213 small and medium-sized European companies have been analysed through data collection, processing and analysis of the information.

Keywords

SMEs, energy efficiency, optimisation, EU Project, H2020

Introducción

Las pequeñas y medianas empresas (PYME) representan el 99% de las empresas, por lo que son una parte fundamental de la economía mundial. Las PYMES proporcionan alrededor del 60% del empleo y contribuyen entre el 16% y el 80% del producto interior bruto (PIB), dependiendo de la estructura económica del país. Considerando su amplia participación en la economía mundial, el aumento de su eficiencia energética ofrece un valor considerable para las economías de los países, la sociedad y las propias PYME. Sin embargo, la aplicación de las mejoras de eficiencia energética en las PYME se ha ido retrasando debido a la falta de información, conocimientos técnicos y financiación [1].

A modo individual, las PYME consumen cantidades modestas de energía, pero colectivamente su demanda energética es considerable. Según estimaciones de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), las PYMEs consumen más del 13% de la demanda total de energía mundial. Implementar medidas de eficiencia energética que sean rentables podría reducir hasta un 30% de su consumo, lo que supone más energía de la que consumen Japón y Corea juntos al año. Por consiguiente, la mejora de la eficiencia energética en las PYMEs, no solamente es importante para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones globales, sino que también es clave para aumentar su competitividad como empresa. Además de reducir los costes energéticos de las PYMES, una mayor eficiencia energética puede mejorar la calidad y el productividad de sus productos, así como abrir nuevas oportunidades de negocio. Incluso cuando los precios de los combustibles son bajos, la volatilidad de los precios de la energía y la incertidumbre obstaculizan el crecimiento de las PYMEs; la eficiencia energética puede reducir la exposición [2].

La Unión Europea (UE) promueve activamente la eficiencia energética y la integración de las fuentes renovables en el tejido empresarial con el fin de lograr una economía neutra en emisiones e impactos negativos sobre el medioambiente. En este sentido, la UE ha fijado nuevos objetivos para 2030 que son más ambiciosos en cuanto a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el aumento de la cuota de energías renovables y la mejora de la eficiencia energética [3, 4]

En Europa se han desarrollado políticas energéticas para aumentar la concienciación e información de las PYMEs, así como para facilitar la adopción de Sistemas de Gestión de la Energía (EMS) en las PYMEs [5, 6]. La Directiva de Servicios Energéticos (ESD) y, posteriormente, la Directiva de Eficiencia Energética (EED) promueven las auditorías energéticas como herramienta principal para la recolección y monitorización de los datos energéticos, crear y compartir conocimientos sobre las opciones tecnológicas y la promoción de medidas rentables para el ahorro de energía [7, 8].

Asimismo, la Directiva de Eficiencia Energética 2012/27/UE solicita a los Estados Miembros de la UE el desarrollo de objetivos nacionales indicativos de eficiencia energética y la publicación de un Plan Nacional de Acción para la Eficiencia Energética (PNAEE) trianual. Respondiendo a esta petición, España publicó su plan nacional a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [9, 10]. En el contexto de esta Directiva, se han adoptado varias medidas importantes en los Estados miembros para mejorar la eficiencia energética en Europa [10], entre las que se incluyen:

- reducción anual del 1,5% de las ventas nacionales de energía;
- renovación energética de al menos el 3% anual de los edificios propiedad de las administraciones públicas y ocupados por ellos;
- estrategias nacionales de renovación de edificios a largo plazo;
- certificados obligatorios de eficiencia energética para la venta y alquiler de viviendas y locales
- adopción de estándares mínimos sobre eficiencia energética y etiquetado en productos como calderas, electrodomésticos, iluminación y televisores (etiqueta energética y diseño ecológico)
- instalación de contadores inteligentes de electricidad (200 millones) y de gas (45 millones) para el 2020;

- medidas obligatorias para las empresas energéticas de reducir el consumo anual de sus consumidores finales en un 1,5% anual.

Sin embargo, en la transición hacia una economía basada en la decarbonización, se identifican todavía una serie de barreas relevantes para las PYMEs: recursos limitados, conocimientos técnicos; culturas organizativas dominadas por el propietario-gerente; y bajo nivel de concienciación en su papel en la economía baja en carbono. Dos conclusiones son especialmente relevantes [11]: las creencias y valores individuales, ya que las funciones de gestión se concentran en una sola persona o en muy pocas; y las empresas más pequeñas tenderán a tener menos tiempo y habilidades técnicas para considerar las oportunidades de eficiencia energética, para cribar y procesar la información relevante

En esta línea, la UE ha aumentado la cantidad de fondos públicos disponibles para la eficiencia energética con el fin de lograr los objetivos planteados en la "*Energy Union*" y apoyar la transición a un sistema energético limpio. No obstante, también ponen de manifiesto que es necesario promover la financiación privada, para lo cual calculan que serán necesarios 177.000 millones de euros adicionales al año durante el periodo 2021-2030 para alcanzar los objetivos energéticos y climáticos de la UE para 2030 [12].

En este contexto, el proyecto "SMEmPower Efficiency", financiado por el programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea, plantea un enfoque holístico para abordar diferentes barreras individuales, organizativas e institucionales. El objetivo del proyecto es facilitar a las PYMEs la realización de auditorías energéticas y aplicar las medidas de eficiencia energética propuestas. Está dirigido a las PYME de ocho países de la Unión Europea: Alemania, Chipre, Eslovenia, España, Grecia, Italia, Reino Unido y Rumanía.

Introduction

Small and medium-sized enterprises (SMEs) account for 99% of businesses around the globe, making them a key part of the global economy. SMEs provide around 60% of employment and contribute between 16% and 80% of gross domestic product (GDP), depending on the economic structure of the country. Considering their large share of the global economy, increasing their energy efficiency offers considerable value for the economies of countries, society and SMEs themselves. However, the implementation of energy efficiency improvements in SMEs is lagging behind due to lack of information, know-how and financing. [1].

Individually, SMEs consume modest amounts of energy, but collectively their energy demand is considerable. According to IEA estimates, SMEs consume more than 13% of total global energy demand. Implementing cost-effective energy efficiency measures could reduce their consumption by up to 30%, which is more energy than Japan and Korea combined consume per year. Improving energy efficiency in SMEs is therefore not only important for achieving global emission reduction targets, but is also key to increasing their profitability and business competitiveness. In addition to reducing SMEs' energy costs, improved energy efficiency can improve the quality and performance of their products and enable new business opportunities. Even when fuel prices are low, energy price volatility and uncertainty hamper SME growth; energy efficiency can reduce exposure [2].

European Union (EU) continues to actively promote energy efficiency and the integration of renewable sources in order to achieve a climate-neutral economy and a more competitive, secure and sustainable energy system. In this regard, the EU has set new targets for 2030 that are more ambitious in terms of reducing greenhouse gas (GHG) emissions, increasing the share of renewable energies, and improving energy efficiency [3, 4].

Over the last few years many energy policies have been developed to overcome information barriers and facilitate the adoption of Energy Management Systems (EMS) in SMEs[5, 6]. The Energy Services Directive (ESD) and, later, the Energy Efficiency Directive (EED) have promoted energy audits as a main tool for collecting and monitoring energy data, creating and sharing knowledge about technology options and promoting cost-effective energy saving measures [7, 8].

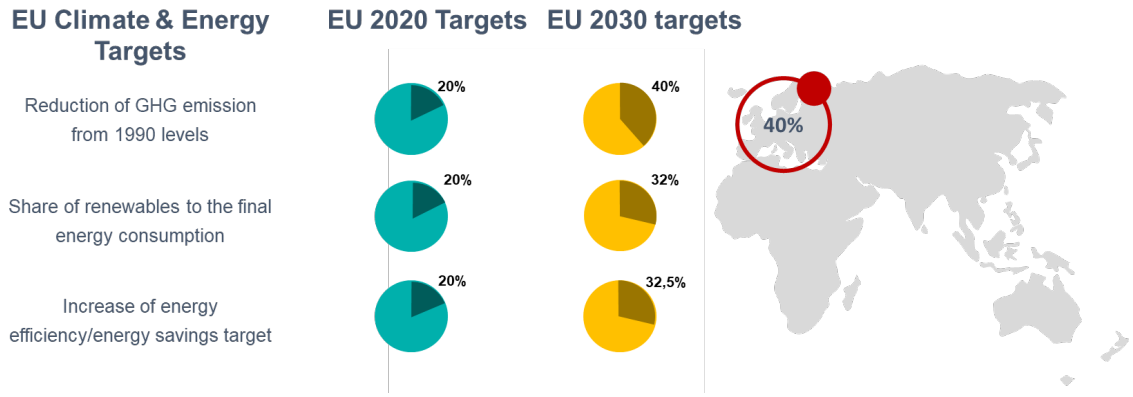


Fig. 1: EU climate and energy targets for 2020 and 2030

Likewise, the Energy Efficiency Directive 2012/27/EU requests EU Member States to develop indicative national energy efficiency targets and publish a three-year National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP). Responding to this request, Spain published its national plan through the Institute for Energy Diversification and Savings [9, 10]. In the context of this Directive, several important measures have been taken in the Member States to improve energy efficiency in Europe [10], including:

- annual reduction of 1.5% of national energy sales;
- energy renovation of at least 3% per year of buildings owned and occupied by public administrations;
- long-term national building renovation strategies;
- mandatory energy efficiency certificates accompanying the sale and rental of buildings;
- adoption of minimum energy efficiency standards and labelling on products such as boilers, appliances, lighting and televisions (energy labelling and eco-design);
- installation of smart meters for electricity (200 million) and gas (45 million) by 2020;
- mandatory measures for energy companies to reduce the annual consumption of their end consumers by 1.5% per year.

Tabla 1: Objetivos de Eficiencia Energética para el 2020 / Table 1. EU Energy Efficiency Targets 2020

2020 Targets	EU	Cyprus	Germany	Greece	Italy	Romania	Slovenia	Spain	UK
Energy Efficiency									
Final Energy Consumption (Mtoe)	1.086	1,8	194,3	18,4	124	30,3	5,1	91	129,2
Primary Energy Consumption (Mtoe)	1.483	2,2	274,7	24,7	158	43	7,1	128	177,6
Greenhouse Gas Emissions									
Overall greenhouse gas emissions compared to 2005	-20% (compared to 1990 levels)	-5%	-14%	-4%	-13%	+19%	+4%	-27%	-16%

However, in the transition to a decarbonization-based economy, a number of relevant barriers are still identified for SMEs: limited resources, technical expertise; owner-manager-dominated organizational cultures; and low awareness of their role in the low-carbon economy. Two findings are particularly relevant [11]: individual beliefs and values, as management functions are concentrated in one person or very few; and smaller firms will tend to have less time and technical skills to consider energy efficiency opportunities, to process and analyze relevant information

Along these lines, the EU has increased the amount of public funds available for energy efficiency in order to achieve the objectives set out in the "*Energy Union*" and support the transition towards a clean energy system. However, they also highlight the need of additional private financing. It is estimated that an additional €177 billion per year will be needed during the period 2021-2030 to achieve the EU's 2030 energy and climate targets [12].

In this context, the "SMEmPower Efficiency" project, funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation program, proposes a holistic approach to address different individual, organizational and institutional barriers. The aims of the project are facilitating the development of energy audits and implement the proposed energy efficiency in SMEs in eight European Union countries: Cyprus, Germany, Greece, Italy, Romania, Slovenia, Spain, Cyprus, Italy and the United Kingdom.

Objetivos

El objetivo principal de este trabajo de investigación es presentar el trabajo realizado dentro del proyecto H2020, SMEmPower Efficiency. Durante la etapa inicial se ha analizado el contexto energético actual de las PYMEs en 213 PYMEs a través y las principales barreras para la implementación de medidas de eficiencia energética.

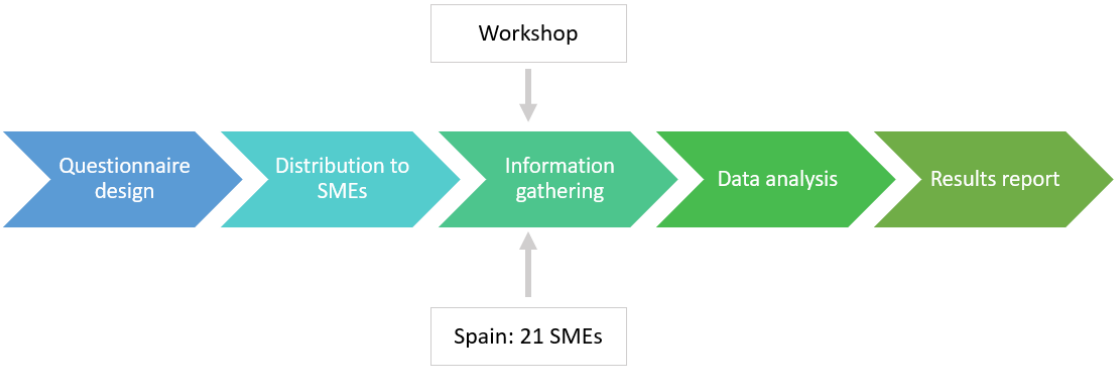
Objectives

The main objective of this research work is to present the work carried out within the H2020 project, SMEmPower Efficiency. During the initial stage it has been analyzed the actual energy context of SMEs in 213 SMEs across and main barriers for the implementation of energy efficiency measures.

Metodología

Con el fin de obtener datos actuales sobre el contexto energético de las PYMEs europeas, el grado de realización de auditorías energéticas por parte de las PYMEs, las medidas de eficiencia energética que implementan y las principales barreras a las que se enfrentan en su implementación, el proyecto "*SMEmPower Efficiency*" ha realizado un estudio para recabar información y poderla analizar. El estudio incluye 23 preguntas que combinan preguntas abiertas, de elección múltiple y de selección múltiple.

La metodología utilizada se muestra en la Figura 2.



La encuesta se ha distribuido, en las lenguas de los socios participantes, a varias PYME europeas entre enero y marzo de 2020. Han respondido a la encuesta 213 pymes de los ocho países participantes, lo que ha permitido recoger una amplia muestra para el análisis. En este artículo se muestran los resultados obtenidos por las 21 pymes españolas que respondieron a la encuesta, aunque algunas respuestas no fueron completadas por todas las empresas. Además, se realizaron varios talleres con la participación de agentes del sector para identificar las barreras encontradas en la aplicación de la eficiencia energética en las PYMES y las soluciones propuestas por las mismas.

La encuesta pretende alcanzar los siguientes objetivos

- Identificar el perfil energético de las PYMES.
- Identificar las barreras en la aplicación de medidas de eficiencia energética.
- Identificar los distintos mecanismos financieros disponibles la aplicación de medidas de eficiencia energética

Methodology

In order to obtain current data on the energy context of European SMEs, the extent to which SMEs carry out energy audits, the energy efficiency measures they implement and the main barriers they face in their implementation, "SMEmPower Efficiency" project has conducted a study to collect information for the analysis. The analysis includes 23 questions combining open-ended, multiple-choice and multiple-choice questions. The methodology used is shown in Figure 2.

The survey has been distributed, in the languages of the participating partners, to a number of European SMEs from January to March 2020. 213 SMEs from the eight participating countries responded to the survey, which has allowed a large sample to be collected for the analysis. This article shows the results of the Spanish obtained by the 21 SMEs in Spain that responded to the survey, although some responses were not completed by all companies. In addition, several workshops were held with the participation of sector agents to identify the barriers encountered in applying energy efficiency in SMEs and the solutions proposed by them.

The survey aims to achieve the following objectives:

- Identify the energy profile of SMEs.
- Identify barriers in the implementation of energy efficiency measures.
- Identify the financial mechanism for implementing energy efficiency measures.

Resultados

Muestra

La población de la muestra incluía 213 PYME de 8 países europeos, de las cuales el 41% empleaban entre 50 y 249 personas, el 29% entre 10 y 49, y el 27% menos de 10 personas. Además, había un 3% que empleaba a más de 250 (un 1% de Alemania con menos de 500 empleados y un 2% de Chipre).

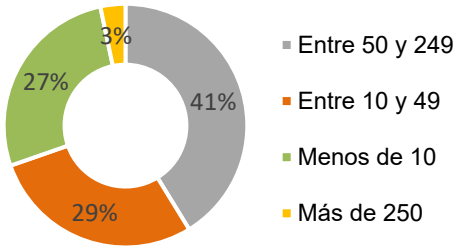


Fig. 3: Número de empleados en las PYMEs participantes

Perfil energético

Uno de los principales objetivos del estudio era identificar la situación actual del perfil energético en las PYME participantes. Como se muestra en la siguiente figura, la mayoría de las PYMEs presentan un bajo consumo energéticos (49%), seguidas de las empresas con un consumo energético entre 100 y 500 tep/año (23%) y las empresas con un consumo superior a 1.000 tep/año (16%). Las empresas con un consumo de energía entre 500 y 1.000 son una minoría en este estudio (12%).

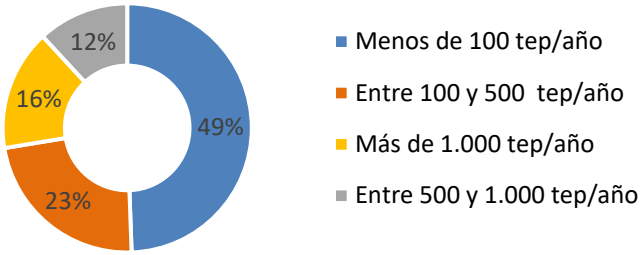


Fig. 4: Consumo de Energía final en 2018

Esto indica que la mayoría de las PYMES participantes tienen un bajo consumo de energía; por lo tanto, los cursos de formación y las herramientas de auditoría energética deberían adaptarse y desarrollarse en base a esta conclusión, dirigiéndose a una amplia gama de actividades de las PYMEs.

Principales Barreras

Este trabajo presenta las principales barreras comunes identificadas en el estudio en todos los países participantes que impiden la aplicación de medidas de eficiencia energética en las PYMEs:

- El periodo de amortización de las inversiones es demasiado largo;
- Dificultades para acceder a ayudas financieras/subvenciones;
- Procedimientos demasiado burocráticos;
- Falta de presupuesto para soluciones de eficiencia energética;

- Falta de concienciación o de formación técnica.

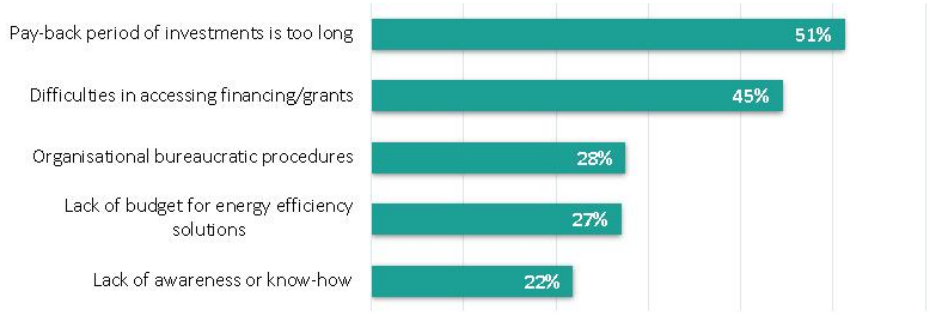


Fig. 5: Main barriers in the implementation of energy efficiency measures

Results

SMEs Sample

Sample population included 213 SMEs from the 8 different European countries, out of which 41% employ between 50 and 249 people, 29% employ between 10 and 49, 27% less than 10 people. In addition, there was 3% which employ over 250 (1% from Germany with less than 500 employees and 2% from Cyprus).

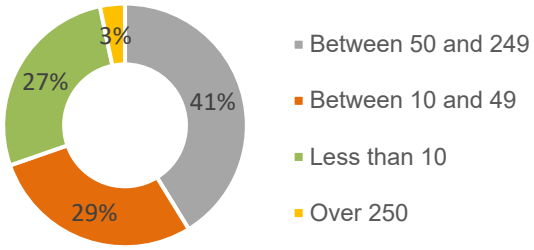


Fig. 3: Number of SMEs employees participated in the survey

Energy Profile

One of the main objectives of the survey was to identify the current situation of the energy profile in the participant SMEs. As shown in the figure below, most of the SMEs present low energy consumption (49%), followed by companies with an energy consumption between 100 and 500 toe/year (23%) and companies with a consumption greater than 1,000 toe/year (16%). The companies with energy consumption between 500 and 1,000 were a minority in this study (12%).

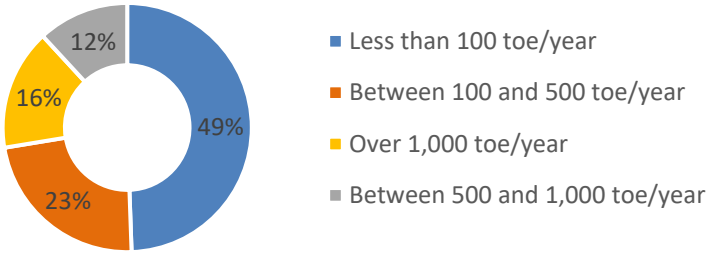


Fig. 4: Final energy consumption in 2018

This indicates that most participant SMEs have low energy consumption; therefore specific training courses and energy audit tools should be tailored based on this conclusion, addressing a wide range of SMEs activities.

Main Barriers

This work presents the main common barriers identified in the study across the participant countries that prevent the implementation of energy efficiency measures in SMEs:

- Pay-back period of investments is too long;
- Difficulties in accessing financial support/grants;
- Organizational bureaucratic procedures;
- Lack of budget for energy efficiency solutions;
- Lack of awareness or know-how.

Mecanismo financiero de apoyo a las PYME.

La mayoría de las PYME (60%) utilizan sus propios fondos para invertir en eficiencia energética y el 21% de las PYME indicaron que han accedido a subvenciones europeas o de otro tipo. Sólo el 11% de las PYMEs afirmaron que utilizan préstamos bancarios como fuente de financiación y el 8% han solicitado apoyo en los Planes Nacionales de Apoyo.

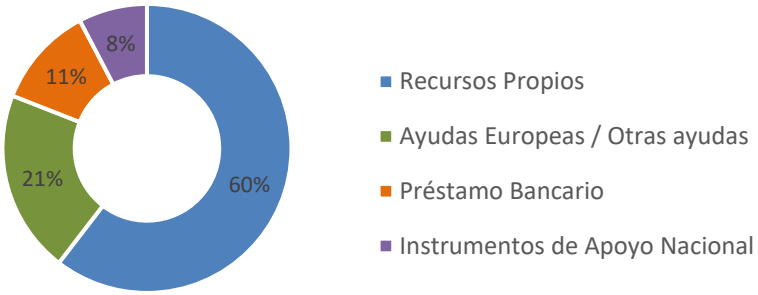


Fig. 6: Fuentes de financiación para inversiones en eficiencia energética

El gráfico muestra que la mayoría de las PYMEs de los países participantes utilizan sus propios recursos financieros para implementar medidas de eficiencia energética (España - 79%, Reino Unido - 75%, Italia - 72%, Eslovenia - 71%, Rumanía - 57%, Grecia - 54%, Alemania - 53%, Chipre - 41%).

Son pocas las PYMEs que han intentado acceder a subvenciones europeas o a otras ayudas (Rumanía - 27%, Grecia - 23%, Chipre - 19%, Italia - 14%, Alemania - 13%, Reino Unido - 12%, Eslovenia - 9% y España - 7%).

Además, algunas PYMEs recurren a préstamos bancarios para aplicar medidas de EE (Chipre - 17%, Alemania - 16%, Italia - 14%) y también a instrumentos de apoyo nacionales (Alemania - 18%, Grecia - 15%, Reino Unido - 13%).

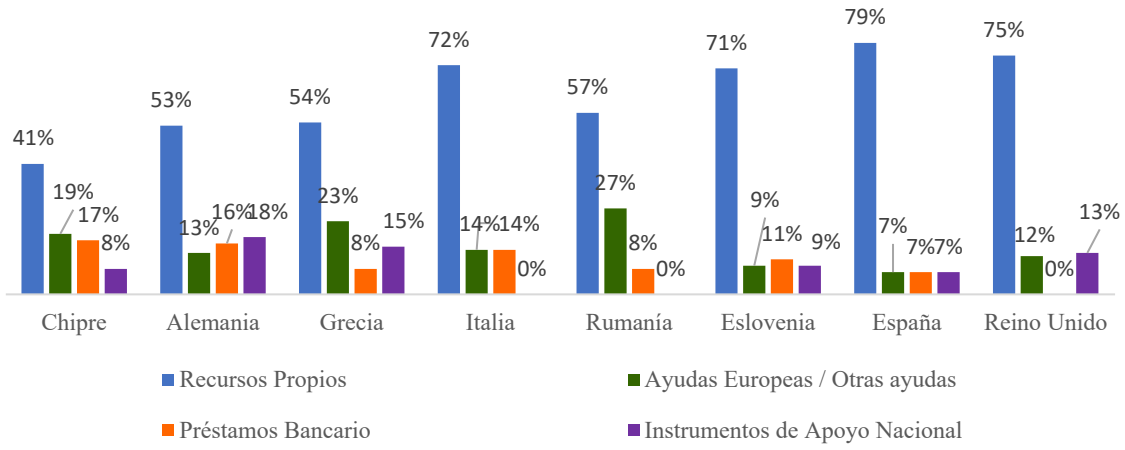


Fig. 7: Fuentes de Financiación para Medidas de Eficiencia Energética en cada país participante

Financial Mechanism to Support SMEs.

Most of the SMEs (60%) use their own funds to invest in energy efficiency and 21% of the SMEs indicated that have accessed European or other grants. Only the 11% of the SMEs claimed that they are using bank loans as a funding source and the 8% have applied to the National Support Schemes.

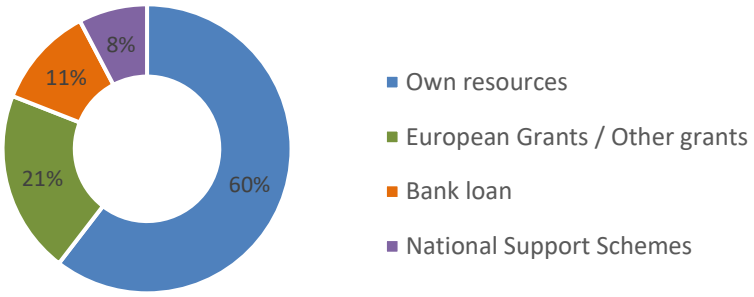


Fig. 6: Funding sources for energy efficiency investments

The Figure below shows that most of the SMEs from all the participating countries are using their own financial resources to implement energy efficiency measures (Spain – 79%, UK – 75%, Italy – 72%, Slovenia – 71%, Romania – 57%, Greece – 54%, Germany – 53%, Cyprus – 41%).

Few SMEs have tried to access European grants or other grants (Romania – 27%, Greece – 23%, Cyprus – 19%, Italy – 14%, Germany – 13%, UK – 12%, Slovenia – 9% and Spain – 7%).

In addition, bank loans are used by some SMEs in order to implement EE measures (Cyprus – 17%, Germany – 16%, Italy – 14%) and also national support schemes (Germany – 18%, Greece – 15%, UK – 13%).

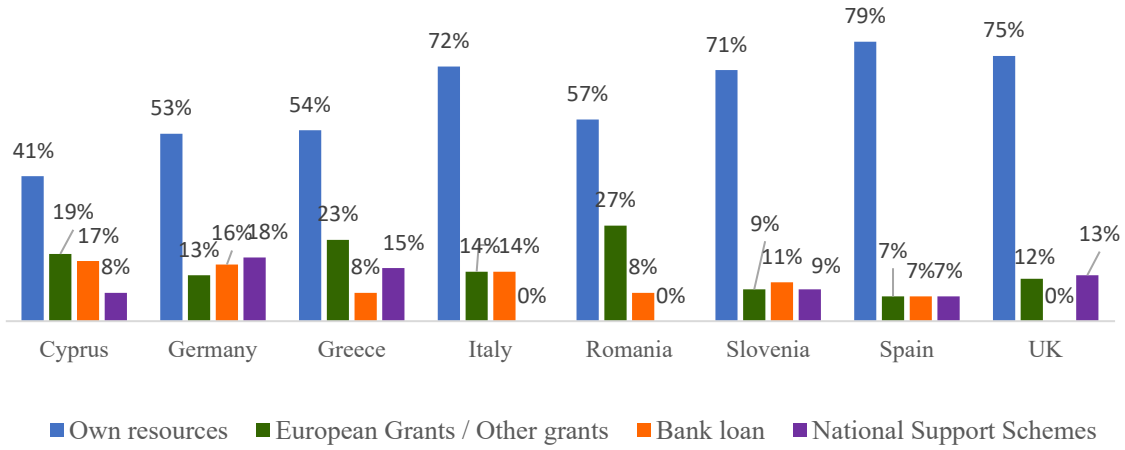


Fig. 7: Funding sources for energy efficiency investments in each participating country

Se muestra a continuación el tipo de ayuda y otros instrumentos para las PYMEs disponibles en los países participantes (Chipre, Alemania, Grecia, Italia, Rumanía, Eslovenia, España y el Reino Unido).

The type of available support schemes and other instruments for SMEs identified in the participant countries (Cyprus, Germany, Greece, Italy, Romania, Slovenia, Spain and the UK) are presented in the table below.

Tabla 1: Instrumentos de apoyo a la Eficiencia Energética en la UE

Table 1: EU Energy Efficiency Supports Schemes

	Apoyo a las ER	Procesos de Licitaciones	Certificados Verdes	Ayudas en Efic. Energ.	Ayudas a las ER	Incentivos Fiscales	Educación / Formación	Transporte
	Support Schemes for RES	Tendering schemes	Quota obligations with tradable green certificates	Grants for EE	Grants for RES	Tax incentives	Education/ Training	Transport
CYPRUS	√	X	X	√	√	X	X	X
GERMANY	X	X	X	√	√	X	√	√
GREECE	X	X	X	√	√	√	X	√
ITALY	X	X	√	√	√	√	√	X
ROMANIA	√	X	X	√	√	X	X	X
SLOVENIA	X	√	X	√	√	√	X	X
SPAIN	√	√	X	√	√	X	X	X
UK	√	X	X	√	√	X	X	X

Además, existe una brecha significativa entre las oportunidades de inversión para PYMES y el nivel de inversiones en eficiencia energética en la mayoría de los países participantes. Se resumen, a continuación, las principales barreras identificadas a través del proyecto SMEmPower, para una mayor promoción de la eficiencia energética en las PYMEs:

- Escaso conocimiento de los múltiples beneficios de los proyectos de eficiencia energética, principalmente por parte de la alta dirección de las PYME (responsables de la toma de decisiones);
- Falta de información en bancos y otras instituciones financieras sobre inversiones en eficiencia energética;
- Falta de una estrategia integrada de eficiencia energética a largo plazo en las PYMEs;
- Falta de planes de apoyo directo y acciones complementarias desde la administración pública;
- Falta de motivación y compromise por parte de las empresas;
- Falta de incentivos fiscales; y
- Barreras administrativas y burocracia

Furthermore, there is a significant gap between the investment opportunities and the level of investments in energy efficiency in most of the participating countries. The main barriers identified through the SMEmPower project, for the further promotion of energy efficiency in SMEs, are summarised below:

- Low awareness about the multiple benefits of energy efficiency projects, mainly from the SMEs top-level management (decision-makers);
- Lack of understanding of energy efficiency financing by banks and other financial institutions;
- Lack of integrated long-term energy efficiency strategy within the SMEs;
- Lack of effective support and supplementary support schemes;
- Lack of motivation and commitment;
- Lack of any tax incentives; and
- Administrative barriers and bureaucracy.

Conclusiones

La importancia de llevar a cabo auditorías energéticas debería potenciarse aún más dentro del tejido empresarial de las PYMES, proporcionando el apoyo necesario (legislativo, financiero y de capacitación) para la aplicación de medidas de ahorro energético en sus instalaciones. En este estudio, se ha analizado el principal contexto energético y las barreras en 213 PYMES de toda Europa.

Las principales conclusiones ponen de manifiesto la necesidad de concienciar sobre la sostenibilidad energética, la información/comunicación de los actores implicados, el apoyo financiero y la formación técnica en las pequeñas y medianas empresas. Este enfoque holístico facilitará la adopción de auditorías energéticas en las instalaciones con sus correspondientes beneficios económicos para las empresas y el medio ambiente. Se trata de un enfoque en el que todos ganan y que debería aplicarse con más intensidad en toda Europa.

Conclusions

The importance of carrying out energy audits should be further enhanced, providing the necessary support (legislative, financial and capacity training) for the implementation of energy saving measures in SMEs. In this study, it has been analyzed the main energy context and barriers in 213 SMEs across Europe.

Main findings highlight the need of energy sustainability awareness, information/communication, financial support and capacity building in the small and medium business. This holistic approach will facilitate the adoption of energy audits in SMEs facilities with the corresponding economic benefits for the companies and the environment. It is a win-win approach that should be deployed all across Europe.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro del marco del proyecto de investigación "*A holistic framework for Empowering SME's capacityto increase their energy efficiency' — 'SMEmPower Efficiency" (Referencia: 847132)* del Programa Marco H2020 de la Unión Europea.

Acknowledgment

This work has been carried out within the framework of the research project "*A holistic framework for Empowering SME's capacity to increase their energy efficiency*" - 'SMEmPower Efficiency" (Contract Ref: 847132) of the European Union's H2020 Framework Program.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

[1] International Energy Agency (2015). *Accelerating Energy Efficiency in Small and Medium-sized Enterprises. Powering SMEs to catalyse economic growth*. IEA/OECD Publishing, Paris.

[2] International Energy Agency (2014b). Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency: A Guide to Quantifying the Value Added, IEA/OECD Publishing, Paris. DOI: http://dx.doi.org/10.1787/9789264220720-en.

[3] European Commission (2020). *Energy Efficiency Directive*. EU, November 2020 https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en. Accessed 31 March 2021.

[4] European Commission (2020). *2030 Climate & Energy Framework*. EU, November 2020 https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es. Accessed 31 March 2021.

[5] Anupama Prashar (2017). *Energy efficiency maturity (EEM) assessment framework for energy-intensive SMEs: Proposal and evaluation*. Journal of Cleaner Production, Volume 166, 2017, Pages 1187-1201, ISSN 0959-6526, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.116.

[6] D. Saygin, E. Worrell, C. Tam, N. Trudeau, D.J. Gielen, M. Weiss, M.K. Patel (2012). *Long-term energy efficiency analysis requires solid energy statistics: The case of the German basic chemical industry*. Energy, Volume 44, Issue 1, 2012, pp. 1094-1106

[7] F. Kalantzis, D. Revoltella. (2019). *Do energy audits help SMEs to realize energy-efficiency opportunities?*. Energy Economics, Volume 83, 2019, Pages 229-239, ISSN 0140-9883, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.07.005.

[8] Trianni, E. Cagno (2011). *Dealing with barriers to energy efficiency and SMEs: Some empirical evidences*. Energy, Volume 37, Issue 1, 2012, Pages 494-504, ISSN 0360-5442, https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.11.005.

[9] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) (2020). *Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020*. IDAE, Noviembre de 2020. https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/plan-nacional-de-accion-de-eficiencia-energetica-2017-2020. Accessed 31 March 2021.

[10] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) (2020). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030*. https://www.idae.es/informacion-y-publicaciones/plan-nacional-integrado-de-energia-y-clima-pniec-2021-2030. Accessed 31 March 2021.

[11] .Tina Fawcett, Sam Hampton (2020). *Why & how energy efficiency policy should address SMEs*. Energy Policy, Volume 140, 2020, 111337, ISSN 0301-4215, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111337.

[12] ManagEnergy. (2018). *Financing energy efficiency*. https://www.managenergy.net/node/580. Accessed 31 March 2021.

USOS Y APROVECHAMIENTOS EN EL SUELO NO URBANIZABLE COMÚN: ENERGÍAS RENOVABLES Y SU INCIDENCIA EN EL PAISAJE

USES AND EXPLOITATION OF COMMON UNDEVELOPED LAND: RENEWABLE ENERGIES AND THEIR IMPACT ON THE LANDSCAPE

Mª Emilia Casar Furió

Departamento Urbanismo / PEGASO/ UPV/ macafu@urb.upv.es
Prof. Titular de Universidad
Doctora en Derecho Administrativo y Urbanismo. Imparte docencia en la ETSAV y en la ETSIE, asimismo participa en diversos cursos de postgrado y máster, y ha presentado numerosas ponencias en congresos especializados, tanto nacionales como internacionales, con extenso repertorio de publicaciones. Ha participado como colaborador en varios Proyectos de Investigación Europeos, Nacionales y de la Generalitat Valenciana.
Dirección de numerosos trabajos finales de carrera, grado y máster en diversas Titulaciones, trabajos de Investigación (DEA), y varias Tesis Doctorales, formando parte de Tribunales en todo ello.
PhD.in Law, Professor, Department of Urbanism, PEGASO, Universitat Politècnica de València, Spain,
E-mail: macafu@urb.upv.es

Mª Jesús Romero Aloy

Departamento Urbanismo / UPV/ maroal1@urb.upv.es
Prof. Titular de Universidad
Doctora en Derecho Administrativo y Urbanismo. Imparte docencia en grado y máster en la ETSIE y otros centros de la UPV. Con participación en varios proyectos de investigación y numerosas publicaciones. Con dirección de diversos trabajos final de grado, máster, y dirección de tesis doctorales.
PhD.in Law, Professor, Department of Urbanism, Universitat Politècnica de València, Spain,
E-mail: maroal1@urb.upv.es

Abstract

The importance that renewable energies have been gaining over the last few years is undeniable. From the legislator's point of view, taking into account the existing reality, there is the challenge of promoting, promoting and regulating this new use and exploitation that, especially in undeveloped land, poses, in turn, the impact on the landscape.

The valencian legislator, comes to contemplate within the different exceptional possibilities of uses and uses admitted in the common developable land, the assumptions that could occur, the procedures and the guarantees that should be observed in their implantations, attending to a certain flexibility, without thereby relax and yet promote an important source of clean energy production with great economic repercussions, reduction of CO2 emissions, positive impact on climate change and, therefore, generally considered favorably.

Keywords

Renewable energies; regulation; incidence; landscape; declaration of community interest

Cuestiones previas

La consideración de las energías renovables toma un cariz diferente (1), como inversión de interés estratégico, impulso al autoconsumo industrial modelando la regla de prelación de la autorización ambiental, asimismo apuntando por la preferencia de su implementación en tejados frente a la ocupación de suelo o preferencia por la disponibilidad civil previa del terreno para la instalación de producción frente a la declaración de utilidad pública, bases en las que se asienta su última regulación normativa recogida en la Comunidad Valenciana en el Decreto-Ley de 7 de agosto de 2020. Dicha regulación, establece distintos niveles de compatibilidad entre las figuras de protección medioambiental y la implantación de centrales fotovoltaicas; criterios territoriales y paisajísticos específicos; y, un nuevo procedimiento integrado para la autorización de instalaciones de generación fotovoltaica en suelo no urbanizable, y de generación eólica.

Introducción

El plan eólico de la Comunidad Valenciana, es uno de los planes territoriales pioneros de las energías renovables ya que fue aprobado por Acuerdo de 26 de julio de 2001 del Gobierno Valenciano y revisado por Acuerdo del Consell de 28 de julio de 2017. Para la definición instrumental de las áreas de implantación se utiliza la técnica netamente urbanística de la zonificación arraigada en el planeamiento desde sus mismos orígenes, ROMERO ALOY- ROMERO SAURA, 2013 (2).

El Decreto-Ley 14/2020, de 7 de agosto, del Consell, de medidas para acelerar la implantación de instalaciones para el aprovechamiento de las energías renovables, introduce innovaciones destacables. Lleva a cabo una regulación minuciosa de la energía fotovoltaica, no sólo en los aspectos procedimentales sino también de ubicación territorial. En su Anexo I se incluye el mapa informativo de la compatibilidad de las áreas sometidas a protección medioambiental para el emplazamiento de centrales fotovoltaicas, apareciendo delimitadas las zonas incompatibles y las zonas condicionadas, esto es, las zonas en las se pueden implantar centrales bajo las condiciones que se determinen en el procedimiento administrativo de concesión.

El art. 6 establece una modificación de las normas del plan eólico, con la modificación del art. 3 de las referidas normas al establecer la exclusión del plan eólico de aquellas instalaciones eólicas de potencia instalada total menor o igual a 3 MW, asociadas a cualquiera de las modalidades de suministro para autoconsumo. En ese art. 6 se introduce un criterio territorial al establecer que esas instalaciones se consideran compatibles con la ordenación territorial y urbanística, sin necesidad de proceder a la modificación de los instrumentos de planeamiento urbanístico, facilitando la implantación de instalaciones destinadas al autoconsumo y reforzando la política europea.

Se sustituye el requisito de redacción del plan especial de ordenación de la zona de implantación eólica por la simple autorización administrativa, sin tener que acudir al complejo procedimiento de aprobación del plan especial (3).

Preliminary Questions

In relation to renewable energies, ".. it goes beyond the standards contained in the Technical Building Code with the requirements that are required of buildings in relation to the basic requirements of safety and habitability, and referred then to a land already urbanized with all kinds of services, to the regulation of undeveloped land, protected by its environmental values or preserved from urban development ", GUIJARRO GONZALEZ (1).

More and more awareness has been taken about this issue, until today, with its new regulation, an investment of strategic interest has been declared, a boost to industrial self-consumption, also pointing to the preference of its implementation on rooftops over land occupation or preference for the prior civil availability of the land for the production facility in front of to the declaration of public utility. The new Valencian regulations are the Decree-Law of August 7, 2020, which establishes different levels of compatibility between environmental protection figures and the implementation of photovoltaic plants; specific territorial and landscape criteria; and a new integrated procedure for the authorization of photovoltaic generation facilities on undeveloped land, and wind generation.

Introduction

The wind power plan of the Valencian Community is one of the pioneering territorial plans of renewable energies since it was approved by Agreement of July 26, 2001 of the Valencian Government and revised by Agreement of the Consell of July 28, 2017.

For the instrumental definition of the implantation areas, the purely urban-planning technique of zoning rooted in planning from its very origins is used (2). Decree-Law 14/2020, of August 7 of the Consell, on measures to accelerate the implementation of facilities for the use of renewable energies, introduces notable innovations. It carries out a meticulous regulation of photovoltaic energy, in procedural aspects and territorial location. Annex I includes the informative map of the compatibility of the areas subject to environmental protection for the location of photovoltaic power plants, showing the incompatible areas and the conditioned areas as areas in which power plants can be implanted under the conditions determined in the administrative concession procedure. The art. 6 establishes a modification of the rules of the wind power plan, with the modification of art. 3 establishing the exclusion from the wind power plan of those facilities with a total installed power less than or equal to 3 MW, associated with any of the supply modes for self-consumption. A territorial criterion is introduced by establishing that these facilities are considered compatible with the territorial and urban planning, without the need to proceed with the modification of urban planning instruments. Thus, the implementation of facilities for self-consumption is notably facilitated, reinforcing European policy. The special plan for the management of the area of the wind power station is not necessary, replaced by the simple administrative authorization, being the most light procedure (3).

Marco Europeo

En el ámbito normativo europeo, es el Tratado de Lisboa de 13 de diciembre de 2007, en su Título XXI, el que regula la política energética estableciendo, en su art. 176 A, el objetivo de "fomentar la eficiencia energética y el ahorro energético, así como el desarrollo de energías nuevas y renovables". A partir de este Tratado, se promulga la Directiva 2009/28/CE que regula un marco común a las energías renovables y establece contenidos obligatorios para los Estados Miembros (4).

La referida Directiva exige a los Estados Miembros de la Unión Europea la realización de Planes de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER) con el objetivo de conseguir los objetivos nacionales fijados en la Directiva. En este sentido, España lo formuló en el año 2010 dando respuesta a los requerimientos y metodología señalados en la misma Directiva y ajustándose al modelo de planes de acción nacionales de energías renovables adoptado por la Comisión Europea.

Tratamiento actual

En la normativa urbanística valenciana vigente, Ley de Ordenación Territorio, Urbanismo y Paisaje de la Comunitat Valenciana (LOTUP 2014, y sus modificaciones), en la regulación del suelo no urbanizable, el art. 197 de conformidad con la regulación del planeamiento, más concretamente en coherencia con lo dispuesto en el art. 21.1.g (5) del mismo texto legal, se ratifica que la zonificación se incluirá en la ordenación estructural del Plan General Estructural, previsto en su denominación como novedad, manteniéndose que la zonificación del suelo rural con carácter excepcional admitirá determinados usos que se ajustan a los previstos con anterioridad en la normativa preexistente.

El Título IV (6) del Libro II recoge el régimen del suelo no urbanizable y del suelo urbanizable sin programa de actuación. En general, se mantienen las instituciones vigentes en el régimen del suelo no urbanizable de la Comunitat Valenciana como zonificación del planeamiento, autorización municipal y Declaración de Interés Comunitario (DIC)(7), aunque esto último de modo más flexible como se verá. Dicha regulación se establece en los arts. 196 a 212, ambos inclusive, con las modificaciones producidas fundamentalmente por la Ley 1/2019, de 5 de febrero, de la Generalitat, así como, la Ley 9/2019, de 23 de diciembre, de la Generalitat, de medidas fiscales, de gestión administrativa y financiera y de organización de la Generalitat, y demás concordantes.

Será necesaria la Declaración de Interés Comunitario en principio para la generación de energía renovable, actividades industriales y productivas, y las actividades terciarias o de servicios, letras d), e), y f) del art. 197 LOTUP, con algunas salvedades. Lo cierto es, en el supuesto concreto de las energías renovables, se mantiene su consideración (art. 197.d), pero en relación a la DIC, conforme al art. 202.4 a), se eximirán de la Declaración de Interés Comunitario en suelo no urbanizable común las instalaciones de energías renovables que expresamente se relacionan.

European Framework

In the European regulatory sphere, it is the Lisbon Treaty of December 13, 2007, in its Title XXI, which regulates energy policy establishing, in its art. 176 A, the objective of "promoting energy efficiency and energy saving, as well as the development of new and renewable energies". Based on this Treaty, Directive 2009/28 / EC is promulgated, which regulates a common framework for renewable energies and establishes mandatory content for the Member States (4).

The aforementioned Directive requires the Member States of the European Union to carry out National Renewable Energy Action Plans (PANER) in order to achieve the national objectives set in the Directive. In this sense, Spain formulated it in 2010 responding to the requirements and methodology indicated in the same Directive and adjusting to the model of national renewable energy action plans adopted by the European Commission.

Current Treatment

In the current Valencian urban regulations, the Law of Territory, Urbanism and Landscape Planning of the Valencian Community, 2014, and its modifications, in the regulation of undeveloped land, art. 197 in accordance with the planning regulation, more specifically in coherence with the provisions of art. 21.1.g (5) of the same legal text, it is ratified that the zoning will be included in the structural management of the General Structural Plan, provided for in its name as a novelty, maintaining that the zoning of rural land on an exceptional basis will admit certain uses that are adjusted to those previously provided in the pre-existing regulations.

Title IV (6) of Book II includes the regime of undeveloped land and land that can be developed without an action program. In general, the current institutions in the non-urbanizable land regime of the Valencian Community are maintained, such as planning zoning, municipal authorization and Declaration of Community Interest (7), although the latter in a more flexible way, as will be seen. Said regulation is established in arts. 196 to 212, both inclusive, with the modifications produced mainly by Law 1/2019, of February 5, of the Generalitat, as well as, Law 9/2019, of December 23, of the Generalitat, on fiscal measures, administrative and financial management and organization of the Generalitat, and other concordant ones.

The Declaration of Community Interest will be necessary in principle for the generation of renewable energy, industrial and productive activities, and tertiary or service activities, letters d), e), and f) of art. 197 LOTUP, with some caveats. The truth is, in the specific case of renewable energies, its consideration is maintained (art. 197.d), but in relation to the Declaration of Community Interest, according to art. 202.4 a), the renewable energy facilities that are expressly related will be exempted from the Declaration of Community Interest in common undeveloped land.

Recapitulando, por propia previsión legal, no necesitarán la DIC, "1.º Aquellas que cuentan con un plan especial aprobado que ordene específicamente estos usos vinculados a la utilización racional de los recursos naturales en el medio rural. 2.º Las instalaciones generadoras de energía renovable destinadas a autoconsumo, previo informe de la consellería competente en materia de energía. 3.º Las instalaciones de energía renovable, cuando la energía sea obtenida, al menos en un cincuenta por ciento, a partir de recursos, productos y subproductos de la propia actividad agraria de la explotación, y se genere un nivel elevado de autosuficiencia para la explotación agraria". Debiendo solicitarse informe de las consellerías competentes en función del uso, aprovechamiento y de su ubicación, y de la consellería competente en materia de energía, en función de la racionalidad del aprovechamiento energético propuesto (8).

Más concretamente, el Decreto-Ley 14/2020, de 7 de agosto, del Consell, de medidas para acelerar la implantación de instalaciones para el aprovechamiento de las energías renovables por la emergencia climática y la necesidad de la urgente reactivación económica regula en su Título III, Capítulo II, el procedimiento integrado de autorización de centrales fotovoltaicas que vayan a emplazarse sobre suelo no urbanizable y de parques eólicos. El art. 19 recoge el régimen de autorizaciones en relación con el art. 22 de la Ley 6/2014, de 25 de julio, de prevención, calidad y control ambiental de actividades en la Comunitat Valenciana, debiendo expedirse con carácter previo informe-certificado urbanístico municipal relativo a la compatibilidad del proyecto con el planeamiento y las ordenanzas municipales y solo considerándose incompatible el uso de instalación fotovoltaica para generación de energía eléctrica cuando esté expresamente prohibido en el planeamiento urbanístico municipal para la zona urbanística en la que se pretende ubicar. No será necesaria la Declaración de Interés Comunitario; y, se exigirá un documento de alcance cuando el proyecto de la instalación esté encuadrado en los supuestos sometidos al procedimiento de evaluación de impacto ambiental.

Conclusiones

Resulta probado que las energías renovables en España se consideran una importante fuente de producción de energía limpia con grandes repercusiones económicas, reducción de las emisiones de CO2, positiva incidencia sobre el cambio climático y, por tanto, consideradas de modo favorable desde una perspectiva general. Como contrapartida a lo señalado, la implantación de parques eólicos y huertos solares en suelo no urbanizable produce un impacto muy negativo sobre el paisaje, impacto que, con carácter general se produce por omisión ante la falta de regulación concreta por parte del planeamiento urbanístico.
Por tanto, resulta acreditada la necesidad de establecer una regulación concreta en el planeamiento urbanístico que establezca las posibilidades de inserción territorial de los elementos que requieren las energías renovables, respetando y preservando al paisaje de los efectos negativos de estas implantaciones.

To recapitulate, by own legal provision, the DIC will not need, "1.º Those that have a special approved plan that specifically orders these uses linked to the rational use of natural resources in rural areas. 2.º Renewable energy generating facilities intended for self-consumption, following a report from the competent energy department. 3.º Renewable energy facilities, when the energy is obtained, at least fifty percent, from resources, products and by-products of the farm's own agricultural activity, and a high level of self-sufficiency is generated for the agricultural exploitation". A report must be requested from the competent ministries based on the use, exploitation and location, and from the competent ministries in energy matters, depending on the rationality of the proposed energy use (8).

More specifically, Decree-Law 14/2020, of August 7, of the Consell, on measures to accelerate the implementation of facilities for the use of renewable energies due to the climate emergency and the need for urgent economic reactivation regulates in its Title III, Chapter II, the integrated procedure for the authorization of photovoltaic plants to be located on undeveloped land and of wind farms. The art. 19 includes the authorization regime in relation to art. 22 of Law 6/2014, of July 25, on prevention, quality and environmental control of activities in the Valencian Community, having to be issued with a prior municipal urban planning report-certificate regarding the compatibility of the project with planning and municipal ordinances and only considering incompatible the use of photovoltaic installation for electric power generation when it is expressly prohibited in municipal urban planning for the urban area in which it is intended to be located. The Declaration of Community Interest will not be necessary; and, a scope document will be required when the installation project is framed in the cases submitted to the environmental impact assessment procedure.

Conclusions

It is proven that renewable energies in Spain are considered an important source of clean energy production with great economic repercussions, reduction of CO2 emissions, positive impact on climate change and, therefore, considered favorably from a general perspective.

As a counterpart to the above, the implantation of wind farms and solar orchards on undeveloped land produces a very negative impact on the landscape, an impact that, in general, occurs by omission due to the lack of specific regulation by urban planning.

Therefore, the need to establish a specific regulation in urban planning that establishes the possibilities of territorial insertion of the elements that require renewable energies is proven, respecting and preserving the landscape from the negative effects of these implantations.

Referencias

(1) GUIJARRO GONZALEZ, 2019, p. 3 y 4, respecto a las energías renovables, considera "..se pasa de las normas contenidas en el Código Técnico de Edificación con las exigencias que se requieren a los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad, y referido pues a un suelo ya urbanizado con todo tipo de servicios, a la regulación del suelo no urbanizable, protegido por sus valores ambientales o preservado del desarrollo urbanístico" .
(2) ROMERO ALOY, M.J. y ROMERO SAURA, F., 2013. Aunque la zonificación es una técnica específicamente vinculada al suelo urbano y urbanizable también se ha traspuesto al suelo no urbanizable

por imperativo de algunas leyes autonómicas, tal es el caso de la Ley 10/2004, de 9 de diciembre, del Suelo no Urbanizable. Vid. pp. 235 y ss.
(3)ROMERO ALOY, M.J., 2020.
(4) ROMERO ALOY, M.J., 2020, "en el caso de España se le asigna una cuota del 20% del consumo nacional a obtener a partir de energías renovables en el año 2020, cuota que (…) ya fue superada en 2019".
(5) CASAR FURIO, ME, 2020. Conforme al art. 21.1.g) LOTUP, las determinaciones de la ordenación estructural contendrán "la ordenación del suelo no urbanizable, que incluye la zonificación y la normativa reguladora propia de los distintos usos y aprovechamientos admisibles excepcionalmente en esta clase de suelo". El plan general estructural clasificará como suelo no urbanizable los terrenos que zonifique como zonas rurales (art. 28.2).
(6) Constituido por tres capítulos: Cap. I de las normas generales para la gestión territorial en el suelo no urbanizable; Cap. II de las actuaciones de edificación en el suelo urbanizable sin programación; Cap. 3 de la minimización de impactos ambientales en el suelo no urbanizable.
(7) La Declaración de Interés Comunitario supone un plus de autorización previo a la licencia de ciertas actividades en el suelo no urbanizable común.
(8) Art. 202.4 a) de la Ley de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje de la Comunitat Valenciana, Ley 5/2014, de 25 de Julio, con sus modificaciones.

References

(1) GUIJARRO GONZALEZ, 2019, p. 3 y 4.
(2) ROMERO ALOY, M.J. y ROMERO SAURA, F., 2013. Although zoning is a technique specifically linked to urban and developable land, it has also been transposed to undeveloped land due to the imperative of some regional laws, such is the case of the Law 10/2004, de 9 de diciembre, del Suelo no Urbanizable. Vid. pp. 235 y ss.
(3) ROMERO ALOY, M.J., 2020.
(4) ROMERO ALOY, M.J., 2020, In the case of Spain, it is assigned a quota of 20% of national consumption to be obtained from renewable energies in 2020, a quota that (...) has already been exceeded en 2019".
(5) CASAR FURIO, ME, 2020. In accordance with art. 21.1.g) LOTUP, the determinations of the structural management will contain "the management of the undeveloped land, which includes the zoning and the own regulatory regulations of the different uses and exceptionally admissible uses in this type of land". The general structural plan will classify land that is zoned as rural areas as undeveloped land (art. 28.2).
(6) Consisting of three chapters: Chap. I of the general rules for territorial management on undeveloped land; chap. II of the building actions on developable land without programming; chap. 3 of minimizing environmental impacts on undeveloped land
(7) The Declaration of Community Interest is an additional authorization prior to the license of certain activities on common undeveloped land
(8) Art. 202.4 a) of the Law of Spatial Planning, Urban Planning and Landscape of the Valencian Community, Law 5/2014, of July 25, with its modifications.

Bibliografía/ Bibliography

AGULLÓ CARBONELL, P. y PALACIN SOLER J., *Energías, territorio y sociedad: ZONA XIV del plan eólico valenciano*, XXII Congreso de Geógrafos Españoles. Energía y territorio. Dinámicas y procesos, Universidad de Alicante, 2002.

CASTELLANOS GARIJO, M., Régimen Jurídico de la energía eólica. Los procesos de autorización de los parques eólicos y de su acceso y conexiones a la red, Universidad de Alcalá de Henares, 2012.

CASAR FURIO, ME., "Regulación dispensada al suelo no urbanizable con la modificación normativa de la Ley de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje de 2014, por la Ley 1/2019, de 5 de febrero" en *Nuevo Régimen Urbanístico de la Comunidad Valenciana. Ley 5/2014 de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje* (coord. Hervás Más), Tirant Lo Blanch,Valencia, 2ª edición, 2020.

COWELL, R., «Wind power, landscape and strategic, spatial planning – The constuction of "acceptable locations" in Wales», en *Land Use Policy*, 27: 222-232, 2010. DOI: 10.1016/j.landusepol.2009.01.006

GUIJARRO GONZALEZ, E., *"*Las energías renovables en la reforma de la Ley valenciana 5/2014, de ordenación del territorio, urbanismo y paisaje (LOTUP*)", Actualidad Jurídica Ambiental, n. 92, Sección "Artículos doctrinales", 2019.*

LABUSSIERE C., MENDES, et. al *"*El paisaje y la transición energética: comparando el surgimiento o de paisajes de energía eólica en Francia, Alemania y Portugal*", Nimbus, 25-26, 2010, pp. 155-173.*

PAREJO ALFONSO, I., *"*El planeamiento urbanístico no es sólo norma. En pro de la superación de la doctrina simplificadora de su naturaleza*", Revista Práctica Urbanística, nº 14, enero-febrero 2017.*
*ROMERO ALOY, M.J. "*Las energías eólica y fotovoltaica y su inserción en el territorio*" en La regulación de la energía limpia ante la emergencia climática. Thomson Reuters Aranzadi, 2020.*
ROMERO ALOY, M.J. y ROMERO SAURA, F. *La zonificación urbanística*, La Ley Wolters Kluwer, Madrid, 2013.
SANZ RUBIALES, I., «Los efectos acumulativos de los parques eólicos. Su evaluación». *Revista Jurídica de Castilla y León,* 2010, pp. 185-216.

RENOVACIÓN DEL AIRE EN ESPACIOS PÚBLICOS A TRAVÉS DE CÁLCULO DINÁMICO COMPUTACIONAL (CFD). EN EL CASO DE LAS AULAS DE LA ETSIE-UPV

AIR RENEWAL IN PUBLIC SPACES THROUGH COMPUTATIONAL DYNAMIC CALCULATION (CFD). IN THE CASE OF THE ETSIE-UPV CLASSROOMS

Antonio Manuel Romero Sedó
Profesor del Dpto. Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. E-mail: aromeros@csa.upv.es
Professor in the Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València, E-mail: aromeros@csa.upv.es

Paloma Arrué Burillo
Profesor Colaborador en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. E-mail: paarbu@csa.upv.es
Professor in the Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València, E-mail: paarbu@csa.upv.es

Jordi Françesc Romero i Miquel
Ingeniero Químico y Graduado en Ciencias Químicas por la Universitat de València, Campus de Burjassot-Paterna, 46100 Valencia, España. E-mail: romijor@postal.uv.es
Chemical Engineer and Graduated in Chemical Sciences from the University of Valencia. E-mail: romijor@postal.uv.es

José Luís Martínez Andrés
Director Adjunto de la División de Operaciones de Global Omnium, Gran Vía del Marqués del Turia, 19, 46005 València, España. E-mail: jmartinez@aguasdevalencia.es
Director of the Operations Division of Global Omnium. E-mail: jmartinez@aguasdevalencia.es

Abstract

Due to the SARS-CoV-2 pandemic, the ventilation conditions of the teaching classroom JB1 of the ETSIE of the UPV were analyzed in order to verify compliance with the security conditions for teaching, based on the legislation of obligatory compliance, recommendations of the UPV, official bodies and Spanish and German regulations on ventilation and air renewal.

The study was based on the computational calculation by fluid dynamics (CFD) in which two types of ventilation are collected, natural ventilation and forced ventilation. Natural ventilation with the hypothesis of a barometric pressure difference between the entrance and the exit through the windows and the classroom door of 1 Pa. And with forced ventilation, 5 hypotheses have been made optimizing all possible designs in function of the space available in the classroom, for safety and economy.

In each case study, the maximum capacity and the location of the areas that can be occupied are obtained, guaranteeing the air flow that guarantees adequate ventilation in the classroom and the absence of vortex formation.

Keywords

SARS-CoV-2, ventilation, computational fluid dynamics (CFD) calculation, teaching classroom.

Introducción

La normativa vigente establece en las aulas la distancia mínima interpersonal de 1.5 m y el aforo máximo de 1 persona/2.5 m² de superficie *(*DOGV, nº 8841 de 20/06/2020). Y la condición de que el coeficiente de ocupación real (COR) sea menor al teórico considerando la separación de 1.5m entre ocupantes (COT), para realizar la docencia presencial. Así mismo el Plan de prevención de la UPV recomienda la apertura de ventanas durante 15 minutos al día y condiciones de trabajo de la ventilación forzada en cuanto a calidad del aire y renovaciones.

El aula JB1 objeto de estudio posee una superficie total de 267.76 m^2, obteniéndose un aforo máximo de 67 personas manteniendo la separación de 1.5 m entre las mesas y 2 m entre los ocupantes.

El alzado SW posee cinco ventanas tipo corredera de 1.33 m x 1.36 m con apertura de media sección y el alzado NE, 7 huecos acristalados situados a una altura 2.08 m del suelo de dimensiones 1.33 m x 0.86 m. Y una puerta de 1.32 m x 1.96 m en el alzado NE que se considera abierta. Así mismo, el aula dispone de 11 claraboyas traslúcidas situadas en el techo de 1.42 m x 1.40 m.

El sistema de calefacción y refrigeración del aula se realiza por aire mediante una máquina condensadora y evaporadora compacta situada en la cubierta del edificio. El aire es suministrado al aula a través de conductos y proyectado mediante 12 difusores y 2 rejillas de retorno de techo.

Materiales y métodos

Condiciones de contorno.

El rango de velocidad de aire adecuada a la altura de la mesa y la cabeza de los alumnos es de 0.12 y 0.35 m/s (Fumadó, 1996), como valores más empleados en los proyectos de climatización de zonas arquitectónicas ocupadas. Las características del aire están definidas por la presión barométrica es de 101204.92 Pa, (Harrison, 1965; U.S. Standard atmosphere, 1976; Hyland y Wexler, 1983), y considerando el aire en unas condiciones de confortabilidad (*c*, 2009) de temperatura seca de 22ºC y humedad relativa del 50%. El caudal de aire en el interior del aula se puede obtener variando los valores de la ecuación diferencial aplicable para fluidos compresibles en un sistema isotérmico, ecuación [1].

$$P \cdot dP + \frac{PM}{R \cdot T \cdot Z} \cdot g \cdot P^2 \cdot dz + \rho^2 \cdot \frac{R \cdot T \cdot Z}{PM} \cdot \lambda \cdot \frac{1}{D^5} \cdot \frac{8 \cdot Q_o^2}{\pi^2} \cdot dx = 0 \qquad [1]$$

Para la ventilación natural se ha utilizado el criterio de variar la presión barométrica con un valor mínimo de 1 Pa entre las caras NE y SW del aula. manteniendo constante el resto de las variables. Cabe destacar que cuanto mayor sea la variación de la presión barométrica en la entrada y salida del aire en el aula, el caudal aumentará y viceversa. Y para la ventilación forzada, se ha utilizado el criterio de mantener tanto en la cara NE como en la SW el mismo valor de la presión barométrica.

Hipótesis de cálculo.

Las hipótesis de cálculo estimadas para obtener el diseño más eficiente se indican en la tabla 1.

Tabla 1.- Hipótesis de cálculo.

Table 1 Calculation hypothesis.

Hipótesis Hypothesis	Ventilación Ventilation	Entrada aire Air inlet	Salida aire Air outlet	Trazado Tracing	Observaciones Observations
1	Natural Natural	SW	Puerta NE Door NE	Longitudinal Longitudinal	Estado actual Current state
2			Puerta+aberturas NE Door + aperture NE		Aberturas NE Apertures NE
3	Forzada por techo Forced by roof	SW y NE	Techo por claraboyas Roof by skylights	Longitudinal/vertical Longitudinal /vertical	Caudal uniforme Uniform flow
4					2 caudales 2 flow ratios
5					3 caudales 3 flow ratios

Introduction

Current regulations establish in classrooms the minimum interpersonal distance of 1.5 m and the maximum capacity of 1 person / 2.5 m² of surface (DOGV, nº 8841 of 06/20/2020). And the condition that the real occupancy coefficient (COR) is lower than the theoretical one considering the 1.5m separation between occupants (COT), to carry out face-to-face teaching. Likewise, the UPV Prevention Plan recommends opening windows for 15 minutes a day and working conditions of forced ventilation in terms of air quality and renovations.

The JB1 classroom under study has a total area of 267.76 m^2, obtaining a maximum capacity of 67 people, maintaining the separation of 1.5 m between tables and 2 m between occupants.

The SW elevation has five sliding windows of 1.33 mx 1.36 m with a half-section opening and the NE elevation, 7 glazed openings located at a height of 2.08 m from the ground with dimensions 1.33 m x 0.86 m. And a 1.32 m x 1.96 m door on the NE elevation that is considered open. Likewise, the classroom has 11 translucent skylights located on the 1.42 m x 1.40 m ceiling.

The classroom heating and cooling system is carried out by air using a compact condensing and evaporating machine located on the roof of the building. Air is supplied to the classroom through ducts and projected through 12 diffusers and 2 ceiling return grilles.

Materials and methods

Boundary conditions.

The range of air speed suitable for the height of the table and the head of the students is 0.12 and 0.35 m/s (Fumadó, 1996), as values most used in air conditioning projects in occupied architectural areas. The characteristics of the air are defined by the barometric pressure of 101204.92Pa, (Harrison, 1965; US Standard atmosphere, 1976; Hyland and Wexler, 1983), and considering the air in conditions of comfort (*Manual de aire acondicionado*, 2009) dry temperature of 22ºC and relative humidity of 50%. The air flow inside the classroom can be obtained by varying the values of the differential equation applicable for compressible fluids in an isothermal system, equation [1].

For natural ventilation, the criterion of varying the barometric pressure with a minimum value of 1 Pa between the NE and SW faces of the classroom has been used. keeping the rest of the variables constant. It should be noted that the greater the variation in barometric pressure at the air inlet and outlet in the classroom, the flow rate will increase and vice versa. And for forced ventilation, the criterion of maintaining the same value of barometric pressure on both the NE and the SW faces has been used.

Calculation hypothesis.

The estimated calculation hypotheses to obtain the most efficient design are indicated in the table 1.

Modeling using computational fluid dynamics (CFD).

Each one of the hypotheses is optimized in the calculation by means of CFD, whose purpose is to obtain the maximum uniformity of the air speed and the minimum investment cost. The tracing of the air stream lines, the speed of the stream lines, their direction and direction, the formation of air vortices inside the classroom is obtained. As well as the adequate and safety location of the occupants inside the classroom, number of air renewals, electrical energy consumed by the electric motors in the event that ventilation was forced, taking into account the most efficient system of consumption of Energy (Wikstroem et al., 2007) and the minimum carbon footprint (López, 2008). And finally, the minimum investment cost (Maldonado & Gonzalez, 2015) in adapting the classroom to the security needs.

Modelización mediante dinámica de fluidos computacional (CFD).

Cada una de las hipótesis se optimiza en el cálculo mediante CFD, cuya finalidad es obtener la máxima uniformidad de la velocidad del aire y el mínimo coste en inversión. Se obtiene el trazado de las líneas de corriente del aire, la velocidad de las líneas de corriente, su dirección y sentido, la formación de vórtices del aire en el interior del aula. Así como la ubicación adecuada y de seguridad de los ocupantes en el interior del aula, número de renovaciones del aire, energía eléctrica consumida por los grupos electromotores en el supuesto de que la ventilación fuese forzada, teniendo en cuenta el sistema más eficiente de consumo de energía (Wikstroem et al., 2007) y la huella mínima carbono (López, 2008). Y, por último, el mínimo coste de inversión (Maldonado & Gonzalez, 2015) en adecuar el aula a las necesidades de seguridad.

Para comprobar el comportamiento del aire en el interior del aula se han utilizado las ecuaciones de Navier-Stokes, mediante CFD, (Zienkiewicz & Taylor, 2000), (Temam, 1979), y de Euler, considerando el aire como un fluido real e incompresible, ecuación [2].

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \nabla F + \nabla G + Q = 0 \qquad [2]$$

Resultados

Hipótesis 1. Estado actual. Ventilación natural.

El estudio del estado actual correspondiente a la hipótesis 1, tiene como objetivo conocer qué grado de seguridad ofrecen las instalaciones del aula sin realizar ningún tipo de actuación o modificación. Los resultados vienen dados por la imagen 1. Tal como se indicó anteriormente el rango de velocidad recomendable a la altura de la mesa de los alumnos entre 0.12 y 0.35 m/s. La velocidad máxima es de 0.96 m/s, situada en las ventanas de la cara SW.

Se detecta la formación de un gran vórtice de aire de 4.04 m x 24.5 m cuya superficie de 98.98m^2, corresponde a un 36.96% de la superficie total del aula. El aire de este vórtice es compartido por al menos 34 ocupantes, lo que supone un 50.74% del aforo total máximo, y en el caso de que uno de los alumnos o profesor este infectado el contagio es inevitable, dado que en este espacio el aire no se renueva adecuadamente con el paso del tiempo.

De los resultados obtenidos la parte más segura donde existe mayor renovación de aire, así como la velocidad del aire más aconsejable, se sitúa sobre la columna central, imagen 1.

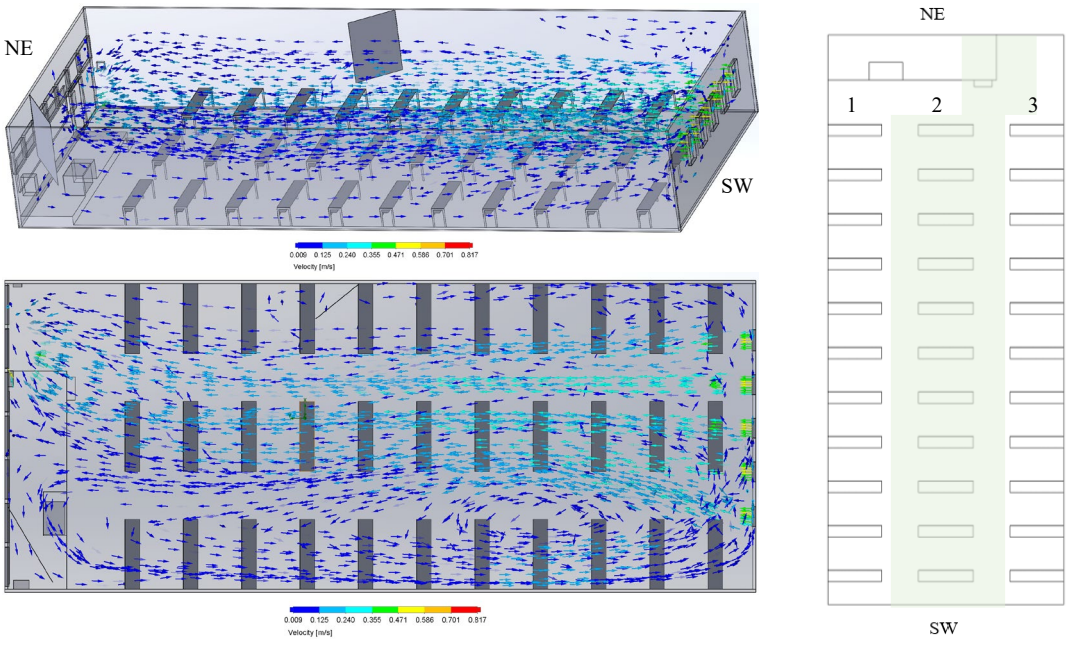


Imagen 1. Hipótesis 1. Ventilación natural. Perspectiva y planta de las líneas de corriente. Zona de ocupación de seguridad.
Image 1. Hypothesis 1. Natural ventilation. Perspective and plan of the streamlines. Security occupation zone.

To check the behavior of the air inside the classroom, the Navier-Stokes equations have been used, using CFD, (Zienkiewicz & Taylor, 2000), (Temam, 1979), and Euler, considering air as a real and incompressible fluid, equation [2].

Results

Hypothesis 1. Current state. Natural ventilation.

The study of the current state corresponding to hypothesis 1, aims to know what degree of security the classroom facilities offer without carrying out any type of action or modification. The results are given by image 1. As previously indicated, the recommended speed range at the height of the students' table is between 0.12 m/s and 0.35 m/s. The maximum speed is 0.96 m/s, located in the windows of the SW face.

The formation of a large air vortex measuring 4.04 m x 24.50 m is detected, whose surface area of 98.98 m^2 corresponds to 36.96% of the total surface of the classroom. The air in this vortex is shared by at least 34 occupants, which represents 50.74% of the maximum total capacity, and in the event that one of the students or teacher is infected, contagion is inevitable, since in this space the air it does not renew properly over time.

From the results obtained, the safest part where there is greater air renewal, as well as the most advisable air speed, is located on the central column, image 1.

It is essential that the windows on the SW side and the classroom access door are fully open at all times. The air speed does not comply with the minimum safety values in the area of the platform where the teacher normally teaches, it is recommended to use the area near the entrance door of the classroom. It is advisable not to exceed a maximum capacity in the classroom of 23 people, including the teacher. The students will be arranged within the class in column 2 in all rows, the students being located at the end of the tables next to the hall. It is not advisable to use columns 1 and 3. In column 1 for reasons of vortex formation and low air speed, and in column 3 due to low air speed.

Hypothesis 2. Modified state. Natural ventilation.

The apertures in the NE face at the height of the slate and that lead to the interior corridor on the NE face is contemplated. They are specifically 7 apertures of 1.33 m x 0.86 m high, image 2.

A vortex shared by 22 occupants is generated, 32.38% of the maximum capacity, the safest area being column 2 plus half of column 3, with a capacity of 34 people. It is essential that the windows on the SW side, the apertures made on the NE side and the classroom access door are fully open at all times.

The air speed on the teacher's platform using this solution, a minimum air speed of 0.12 m/s is not guaranteed either. Therefore, it is recommended that the teacher's time on the platform be minimal.

This solution is much more suitable than the one studied in hypothesis 1. It is advisable not to exceed a maximum capacity of 34 people. The students will be arranged inside the classroom in the areas near the corridors. It is not advisable to use column 1 for teaching reasons for reasons of vortex formation and low air speed, nor for column 3 in the seats near the east wall.

Es imprescindible que en todo momento las ventanas situadas en la cara SW y la puerta de acceso del aula se encuentren totalmente abiertas. La velocidad del aire no cumple con los valores mínimos de seguridad en la zona de la tarima donde normalmente imparte clase el profesor, se recomienda utilizar la zona próxima a la puerta de entrada del aula. Se aconseja no sobrepasar de un aforo máximo en el aula de 23 personas, incluido el profesor. Los alumnos se dispondrán dentro de la clase en la columna 2 en todas las filas, siendo ubicados los alumnos en el extremo de las mesas junto al pasillo. No es aconseja utilizar para la docencia las columnas 1 y 3. En la columna 1 por razones de formación de vórtice y escasa velocidad del aire, y en la columna 3 por la escasa velocidad del aire.

Hipótesis 2. Estado modificado. Ventilación natural.

Se contempla la apertura de huecos en la cara NE a la altura de la pizarra y que dan al pasillo interior en la cara NE. Son concretamente 7 aberturas de 1.33 m x 0.86 m de alto, imagen 2.

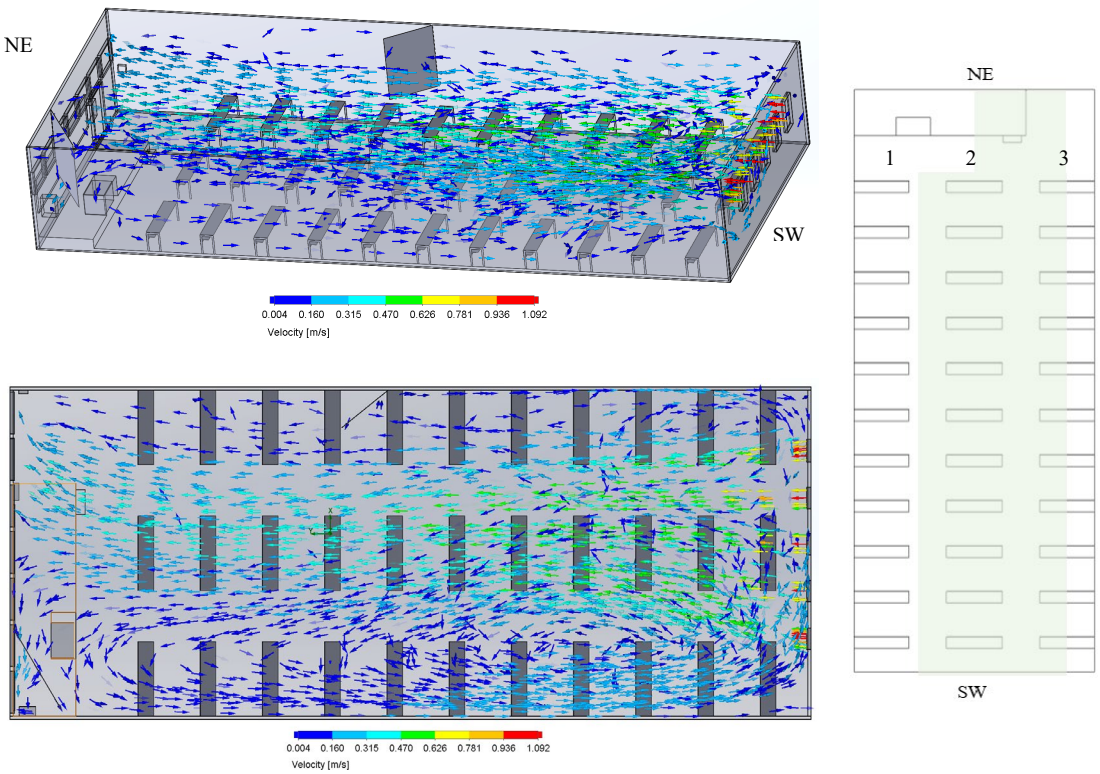


Imagen 2. Hipótesis 2. Ventilación natural. Perspectiva y planta de las líneas de corriente. Zona de ocupación de seguridad.
Image 2. Hypothesis 2. Natural ventilation. Perspective and plan of the streamlines. Security occupation zone.

Se genera un vórtice compartido por 22 ocupantes, un 32.38% del aforo máximo, siendo la zona más segura la columna 2 más la mitad de la columna 3, con aforo de 34 personas. Es imprescindible que en todo momento las ventanas situadas en la cara SW, las aberturas practicadas en la cara NE y la puerta de acceso al aula se encuentren totalmente abiertas.

La velocidad del aire en la tarima del profesor mediante esta solución, tampoco se garantiza una velocidad mínima del aire de 0.12 m/s. Por tanto, se recomienda que el tiempo de permanencia del profesor sobre la tarima sea mínima.

Esta solución, es mucho más adecuada que la estudiada en la hipótesis 1.Se aconseja no sobrepasar un aforo máximo de 34 personas. Los alumnos se dispondrán dentro del aula en las zonas cercanas a los pasillos. No es aconseja utilizar para la docencia la columna 1 por razones de formación de vórtice y escasa velocidad del aire, ni en la columna 3 en los asientos cercanos a la pared este.

Hypothesis 5. Forced ventilation.

The corresponding modeling of the five calculation hypotheses has been carried out and it has been concluded that hypothesis 5 is the most efficient from the point of view of safety, with the least economic cost, and the one that produces the least carbon footprint., in addition to being the only hypothesis that does not produce any vortex in all modeling.

In this hypothesis, the air inlet into the classroom is through the NE and SW faces and is expelled through extractors arranged on the ceiling of the classroom. The modeling has been carried out with extractors with 3 different flow rates arranged strategically whose purpose has been to avoid vortices inside the classroom at all times, as well as to achieve air speeds that are within the values of 0.12 m/s and 0.35m/s in the areas of the table and at the height of the head of the student and teacher.

Image 3 represents one of the two modeling perspectives where the direction, sense and quantification of the air speed are given.

It is essential that the windows on the SW side, the apertures made on the NE side and the classroom access door are fully open at all times.

It is advisable not to exceed the maximum capacity of the classroom estimated at 67 people.

It is recommended to install frequency inverters for the air extraction equipment located on the ceiling of the classroom. In addition, the frequency inverters must be programmed through PLCs or another intelligent system to adapt the flow of the classroom according to the capacity, in order to achieve energy savings and reduce the carbon footprint.

Results

Table 2 shows the summary of results by computational fluid dynamics (CFD) of the maximum capacity is achieved through forced ventilation with a total of 67 people, followed by hypothesis 2 natural ventilation with 34 people and, finally, with hypothesis 1 natural ventilation with 23 people. As is the flow per occupant, which is higher in forced ventilation, followed by natural ventilation, hypothesis 2, and finally, natural ventilation, hypothesis 1.

The density of the air in all the simulations is constant with a value of 1.19 kg/m^3, this is an indicator that the variation of the molecular weight of the air remains practically constant, which implies that the water vapor concentration of the air is uniform. The results obtained from the entry and exit relative humidity are also practically constant, with an average value of 49.85%, that together with a practically isothermal system of 22ºC, indicates that the interior of the classroom remains within the comfort parameters.

All simulations comply with the minimum number of air changes established by DIN 1946 and in the RITE IDA 2 airflow per occupant.

Conclusions

The study of ventilation requires simulations using computational fluid dynamics to check the direction of the current lines, air speed, flow rates, number of air changes, existence of vortices, backwater, system efficiency, etc.

In the case studied it is advisable not to exceed the maximum capacity, as well as to comply with the security occupation zones at all times according to the type of ventilation and the calculation hypothesis. The occupation of the areas where the vortices occur is sensitive to the spread of contagion.

It is advisable to establish a time between 10 to 15 minutes between classes so that there is a complete renewal of the classroom air.

With natural ventilation, the opening of interior spaces increases the capacity from 23 to 34 people with the specified location that avoids the vortex formation zone.

The optimal hypothesis of forced ventilation corresponds to the extraction of air through roofs allowing a capacity of 67 people. It is recommended to install frequency inverters for the air extraction equipment programmed through PLCs or another intelligent system to adapt the flow of the classroom according to the capacity, in order to achieve energy savings and reduce the carbon footprint.

Hipótesis 5. Ventilación forzada.

Se han realizado las correspondientes modelizaciones de las cinco hipótesis de cálculo y se ha llegado a la conclusión de que la hipótesis 5 es la más eficiente desde el punto de vista de la seguridad, de menos coste económico, y la que menos huella de carbono produce, además de ser la única hipótesis que no produce ningún vórtice en toda la modelización

En esta hipótesis la entrada del aire al aula se realiza a través de las caras NE y SW y es expulsado a través de extractores dispuestos en el techo del aula. La modelización se ha realizado con extractores con 3 caudales distintos dispuestos de forma estratégica cuya finalidad ha sido evitar en todo momento vórtices en el interior del aula, así como conseguir velocidades de aire que estén dentro de los valores de 0.12 y 0.35m/s en las zonas de la mesa y a la altura de la cabeza del alumno y profesor.

En la imagen 3 se representa una de las dos perspectivas de la modelización donde viene dado la dirección, sentido y cuantificación de la velocidad del aire.

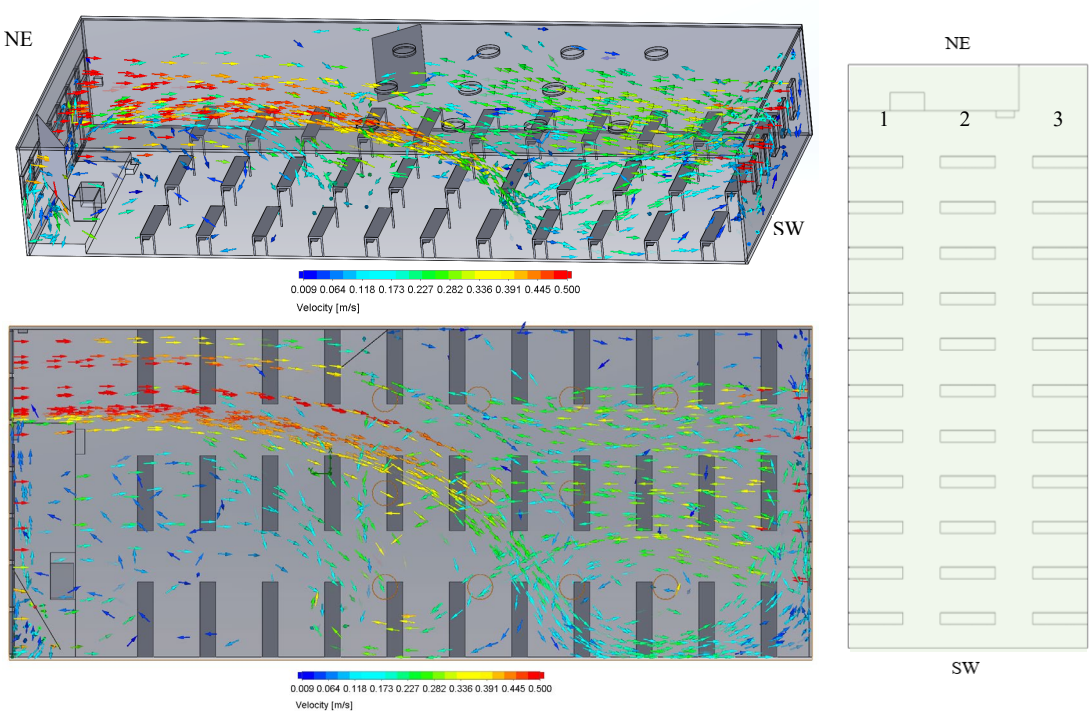


Imagen 3. Hipótesis 5. Ventilación forzada. Perspectiva y planta de las líneas de corriente. Zona de ocupación de seguridad.
Image 3. Hypothesis 5. Forced ventilation. Perspective and plan of the streamlines. Security occupation zone.

Es imprescindible que en todo momento las ventanas situadas en la cara SW, los huecos practicados en la cara NE y la puerta de acceso al aula se encuentren totalmente abiertas.

Es aconsejable no sobrepasar el aforo máximo del aula estimado en 67 personas.

Se recomienda instalar variadores de frecuencia para los equipos de extracción de aire ubicados en el techo del aula. Además, los variadores de frecuencia deben de estar programados a través de PLCs u otro sistema inteligente para adecuar el caudal del aula según el aforo, con el objetivo de conseguir ahorros energéticos y disminuir la huella de carbono.

Resultados

En la tabla 2, se indica el resumen de resultados por dinámica de fluidos computacional (CFD) de la ventilación natural y forzada, indicando el aforo máximo recomendable.

Tabla 2. Aforo máximo recomendable
Table 2. Recommended maximum capacity

Tipo ventilación Ventilation type	Ventanas, huecos y puerta Windows/apertures and door	Presión dinámica máxima entrada/salida (Pa) Maximum inlet / outlet dynamic pressure (Pa)	Velocidad máxima entrada /salida (Pa) Maximum inlet / outlet speed (Pa)	Caudal (m^3/s) Flow (m^3/s)	Aforo máximo recomendable Recommended maximum capacity
Natural. Hip. 1	Abiertas	0.21 / 0.90	0.60 / 1.23	2.35	23
Natural. Hip. 2		0.88 / 0.46	1.22 / 0.88	4.78	34
Forzada. Hip. 5		0.36 / 86.30	0.78 / 12.06	8.50	67
Tipo ventilación Ventilation type	**Tiempo por renovación (min) Time for renewal (min)**	**Renovaciones por hora (n/h) Renewals per hour (n/h)**	**Caudal por ocupante (litros/(s·persona)) Flow per occupant (liters /(s·person))**	**Observaciones Observations**	**Área del vórtice (m^2) Vortex área (m^2)**
Natural. Hip. 1	7.59	7.9	35.08	Con vórtices	98.98
Natural. Hip. 2	3.73	16.07	71.36	Con vórtices	96.07
Forzada. Hip. 5	2.10	28.57	126.87	Sin vórtices	0

El máximo aforo se consigue mediante la ventilación forzada con un total de 67 personas, seguido de la ventilación natural hipótesis 2 con 34 personas y, por último, con la ventilación natural hipótesis 1 con 23 personas. Al igual que el caudal por ocupante que es mayor en la ventilación forzada, seguido por la ventilación natural hipótesis 2 y por último la ventilación natural hipótesis 1.

La densidad del aire en todas las simulaciones es constante con un valor de 1.19 kg/m^3, esto es un indicador de que la variación del peso molecular del aire se mantiene prácticamente constante, lo que implica que la concentración del vapor de agua del aire es uniforme. Los resultados obtenidos de la humedad relativa de entrada y salida también se mantienen prácticamente constantes, con un valor promedio de 49.85%, que unido a un sistema prácticamente isotérmico de 22ºC, indica que el interior del aula se mantiene dentro de los parámetros de confortabilidad.

Todas las simulaciones cumplen con el número mínimo de renovaciones de aire establecida por la norma DIN 1946 y en el caudal de aire por ocupante RITE IDA 2.

Conclusiones

El estudio de la ventilación requiere realizar simulaciones mediante dinámica de fluidos computacional para comprobar la dirección de las líneas de corriente, velocidad del aire, caudales, número de renovaciones del aire, existencia de vórtices, remanso, eficiencia del sistema, etc.

En el caso estudiado es aconsejable no sobrepasar del aforo máximo, así como cumplir las zonas de ocupación de seguridad en todo momento según la tipología de ventilación y la hipótesis de cálculo. La ocupación de las zonas donde se producen los vórtices es sensible a la propagación de contagios.

Es recomendable establecer un tiempo entre 10 a 15 minutos entre clases para que exista una renovación completa del aire del aula.

Con la ventilación natural la apertura de huecos interiores incrementa el aforo de 23 a 34 personas con la ubicación especificada que evite la zona de formación de vórtices.

La hipótesis óptima de ventilación forzada corresponde a la extracción de aire por techos permitiendo un aforo de 67 personas. Se recomienda instalar variadores de frecuencia para los equipos de extracción de aire programados a través de PLCs u otro sistema inteligente para adecuar el caudal del aula según el aforo, con el objetivo de conseguir ahorros energéticos y disminuir la huella de carbono.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- España. Acuerdo, de 19 de junio, sobre las medidas de prevención frente a la covid 19. *Diario Oficial de la Generalitat Valenciana,* 20 de junio de 2020, núm. 8841, pp. 24259-24277.
- España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo y corrección de errores, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Aplicación de la exigencia HS 3 Calidad del aire interior. *Boletín Oficial del Estado,* 28 de marzo de 2006, núm. 74, pp. 11816-11831.
- España. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el reglamento de Instalaciones térmicas en los Edificios. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de agosto de 2007, núm. 207, pp. 35931-35984.
- Fumadó, J. L. (1996). *Climatización de edificios*. Barcelona : Ediciones del Serbal, 1996.
- Harrison, L. P. (1965). Fundamental Concepts and Definitions Relating to Humidity and Moisture Measurement and Control in Science and Industry. Proc. Int. Symp. On Humidity and Moisture, Vol.3 Fundamentals and Standards, Reinhold, New York, 3–256.
- Hyland, R.W., and Wexler, A. 1983. Formulations for the thermodynamic properties of the saturated phases of H2O from 173.15K to 473.15K. ASHRAE Trans. 89, 500-519.
- López, J. F. (2008). Medio ambiente comunitario y protocolo de Kioto : la armonización de la imposición energética o un mercado sobre emisiones de gases de efecto invernadero. Las Rozas Madrid : La Ley, D.L. 2008.
- Maldonado, L., y Gonzalez, M. G. P. (2015). Cálculo del VAN y TIR. Unpublished. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1214.4807
- Manual de aire acondicionado. (2009). Barcelona : Marcombo, cop. 2009.
- Systems, S. D. (2019). SolidWorks Education Edition . http://www.solidworks.es
- Temam, R. (1979). Navier-Stokes equations : Theory and numerical analysis (Ed. rev.). Amsterdam, etc. : North-Holland.
- U.S. Standard atmosphere. 1976. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Aeronautics and Space Administration (NASA), and the United States Air Force. Available from National Geophysical Data Center, Boulder, CO. Washington DC. EEUU.
- Wikstroem, P., Tolvananen, J., Savolainen, A., y Barbosa, P. (2007). Accionamientos eficientes y ahorro de energía. Revista ABB, 2, 73–80.
- Zienkiewicz, O. C., & Taylor, R. L. (2000). The finite element method. Volume 3, Fluid dynamics (5th ed..). Oxford [etc.]: Butterworth-Heinemann.

CHAPTER 3

HERITAGE

CAPÍTULO 3 ***PATRIMONIO***

CALIDAD Y NORMATIVA, SU IMPORTANCIA EN LOS ESTUDIOS PREVIOS NECESARIOS PARA REALIZAR UNA CORRECTA PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.

QUALITY AND STANDARDS, ITS IMPORTANCE IN THE PRELIMINARY STUDIES NECESSARY TO MAKE A CORRECT INTERVENTION PROPOSAL.

E. Arias Valera

Arquitecta Técnica. Graduada en Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Universidad Politécnica de Valencia./ Building Engineer. Graduated in Conservation and Restoration of Cultural Heritage. *E-mail:engracia05@gmail.com*

L. Osete Cortina

I*nvestigadora en el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio. Universitat Politècnica de València. Profesora Asociada en el Dpto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Facultad de Bellas Artes, UPV. Doctora en Química por la UV. Researcher in the Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio. Associate Professor at the Department of Conservation and Restoration of Cultural Assets, Faculty of Fine Arts, UPV. PhD in Chemistry. E-mail: losete@crbc.upv.es*

X. Mas-Barberà

Investigador en el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio. Universitat Politècnica de València. Profesor Catedrático de Universidad, Conservador y restaurador de escultura y ornamentos. Doctor en Bellas Artes por la UPV. Researcher in the Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio. Senior Professor at the UPV, Conservator and restorer of sculpture and ornaments. PhD in Fine Arts. E-mail: jamasbar@upvnet.upv.es

Abstract

This text aims to emphasise the importance of carrying out preliminary studies and standardised tests, the benefits they provide in terms of quality, the validity of their results and the guarantees they offer regarding the processes to be applied in future actions. Thus, with the purpose of demonstrating the usefulness of this work methodology, studies and analyses are carried out on a monument and its materials, applying this philosophy of using the existing regulations in each case, reaching conclusions that will allow action to be taken on the property in the future with full guarantees. Throughout the work, references of national and international use are always sought, which can be checked and compared in different situations and by different professionals on equal terms whenever necessary. For all this, the previous study of the work "La Puerta de Benetússer" (Valencia, Spain) is taken as a basis.

Keywords

Calidad en las intervenciones, normativa, ensayos normalizados, terminología y procesos estandarizados/ Quality of interventions, regulations, standardised testing, terminology and standardised processes

Introducción

Por mucho que se piense que incorporar procedimientos normalizados en los procesos que implican la conservación o restauración de un bien cultural debe ser una práctica común, en la mayor parte de los casos no es así. En el ámbito de la Conservación y Restauración, las intervenciones deben responder a unos requerimientos que garanticen la conservación del Patrimonio, y para ello es necesario incorporar al "saber hacer" un código deontológico o mecanismo de autorregulación que defienda un enfoque científico.

Hay que considerar que, debido al carácter único e irrepetible del Bien Cultural, la obra raramente puede ser "estandarizada", pero sí que es viable llegar a un consenso internacional para el establecimiento de una normalización en cuanto a gestión de materiales y ejecución de procesos que garantice el control de calidad de las intervenciones. Esto además no tiene que asociarse necesariamente a costes elevados, por ello en este trabajo se presenta un enfoque metodológico basado en la aplicación de procedimientos sencillos, que no necesitan equipamientos sofisticados y cumplen con los requerimientos planteados. En este sentido, se busca comprobar que los estándares o normas permiten la simplificación de los procesos, así como unifican criterios y procedimientos para favorecer el intercambio internacional, además de permitir la creación de un lenguaje claro y preciso para evitar errores o confusiones.

Aproximación técnica y material

Unos de los aspectos importantes en cualquier proceso previo de restauración, es el conocimiento de los materiales que componen la obra. Definición, nomenclatura, funciones y principales características de los materiales se especifican en diferentes documentos normalizados, facilitando el intercambio de información y evitando confusiones y errores en cuanto a terminología. En este caso, el monumento sujeto a estudio presenta tres acabados materiales: pétreo, ladrillo y morteros. El material pétreo utilizado en esta obra es una roca sedimentaria carbonatada de la familia de las calizas cuyo componente casi exclusivo es el carbonato cálcico [$CaCO_3$] cristalizado como calcita, según norma **UNE-EN 12670:2020** (p.29) y que posee una estructura travertínica característica, similar a la denominada como "Travertino Moncada-Travertino Godella" en la norma **UNE-EN 12440:2019** (p.89). El ladrillo es del tipo macizo según denominación actual publicada en **BOE 185**. Los morteros, según la norma **UNE-EN 998:2018**, se definen como mezclas de uno o más conglomerantes inorgánicos, áridos, agua y a veces adiciones y/o aditivos. También se puede utilizar la definición dada por el **EwaGlos (2016)**: "*Capa protectora y/o decorativa (posiblemente formada por múltiples capas), que se aplica a superficies arquitectónicas exteriores (...)"*. De entre los diversos usos que puede presentar esta tipología de materiales en la obra objeto de estudio se encuentran, cumpliendo funciones de unión entre piezas cerámicas, el mortero de juntas, de revestimiento para protección y/o decoración de la fábrica de ladrillo, así como de reintegración volumétrica en el material pétreo de la base.

Estado de conservación. Estudios y análisis previos

Los mecanismos o agentes que alteran un material se disponen para su estudio en físicos, químicos, biológicos, antrópicos y desastres naturales. Estos provocan por sí solos o combinados una serie de patologías (LABORDE et al, 2013). Con el propósito de incorporar metodologías con validez internacional, la enumeración de los daños observados en las obras se rige por las clasificaciones y definiciones dadas en el glosario **ICOMOS** (2011). Para la realización de los análisis previos, son diversas las pautas a seguir. En primer lugar, hay que decidir los puntos de muestreo. Esta selección puede ser, **a) aleatoria,** se elige al azar a lo largo de la obra (-no suele utilizarse en restauración); **b) patrón regular**, se divide la obra en partes o volúmenes regulares y se reparten las muestras en una secuencia lógica (-únicamente utilizada en casos de un único material homogéneo); **c) arbitraria,** después de indicar los puntos por el método aleatorio o por patrón, los puntos que no interesan se modifican (es poco empleada); y, **d) intencionada,** se utiliza en la mayoría de bienes patrimoniales ya que con este método se estudian exclusivamente los elementos de interés, por alteraciones o necesidad de información, sin dañar partes sensibles o significativas. (REEDY, 1988). En el caso concreto de estudio, se ha recurrido a la intencionada, pues se ha buscado una muestra concreta de cada tipología de material para poder realizar una comparativa que permita identificar diferencias entre materiales y en su estado de conservación, como se observa en la Figura 1.

Introduction

As much as it is thought that incorporating standardized procedures in processes involving the conservation or restoration of a cultural property should be common practice, in most cases this is not the case. In the field of Conservation and Restoration, interventions must respond to requirements that guarantee the conservation of Heritage, and for this it is necessary to incorporate a deontological code or self-regulation mechanism that defends a scientific approach into the "know-how".

It must be considered that, due to the unique and unrepeatable nature of the Cultural Heritage, the work can rarely be "standardised", but it is feasible to reach an international consensus for the establishment of a standardisation in terms of the management of materials and the execution of processes that guarantee the quality control of the interventions. This does not necessarily have to be associated with high costs, and so this work presents a methodological approach based on the application of simple procedures, which do not require sophisticated equipment, and which meet the requirements set out. In this sense, the objective is to verify that the standards or norms allow the simplification of processes, as well as unify criteria and procedures to favor international exchange, in addition to allowing the creation of a clear and precise language to avoid errors or confusion.

Technical and material approach

One of the important aspects in any preliminary restoration process is the knowledge of the materials that make up the work. Definition, nomenclature, functions and main characteristics of the materials are specified in different standardised documents, facilitating the exchange of information and avoiding confusion and mistakes in terminology. In this case, the monument under study has three material finishes: stone, brick and mortar. The stone material used in this work is a carbonate sedimentary rock of the limestone family whose almost exclusive component is calcium carbonate [$CaCO_3$] crystallised as calcite, according to standard UNE-EN 12670:2020 (p.29) and which has a characteristic travertine structure, similar to that known as "Travertino Moncada-Travertino Godella" in standard UNE-EN 12440:2019 (p.89). Mortars, according to UNE-EN 998:2018, are defined as mixtures of one or more inorganic binders, aggregates, water and sometimes additives and/or admixtures. The definition given by EwaGlos (2016) can also be used: "Protective and/or decorative coating (possibly consisting of multiple layers), which is applied to exterior architectural surfaces (...)". Among the various uses that this type of materials can have in the work under study are, as a bonding agent between ceramic pieces, joint mortar, a coating for protection and/or decoration of the brickwork, as well as volumetric reintegration in the stone material of the base.

State of conservation. Previous studies and analysis

The mechanisms or agents altering a material are divided for study into physical, chemical, biological, anthropic and natural disasters. These, alone or in combination, cause a series of pathologies (LABORDE et al, 2013). In order to incorporate methodologies with international validity, the enumeration of damage observed in the works is governed by the classifications and definitions given in the ICOMOS glossary (2011). In order to carry out the preliminary analyses, there are several guidelines to follow. First of all, the sampling points have to be decided. This selection can be: a) random, chosen at random throughout the work (-not usually used in restoration); b) regular pattern, the work is divided into regular parts or volumes and the samples are distributed in a logical sequence (-only used in cases of a single homogeneous material); c) arbitrary, after indicating the points by the random method or by pattern, the points that are not of interest are modified (it is rarely used); and d) intentional, it is used in the majority of heritage objects because with this method only the elements of interest are studied, due to alterations or the need for information, without damaging sensitive or significant parts (REEDY, 1988). In the specific case of this study, we have chosen the intentional method, as we have sought a specific sample of each type of material in order to be able to make a comparison to identify differences between materials and in their state of conservation, as shown in Figure 1.

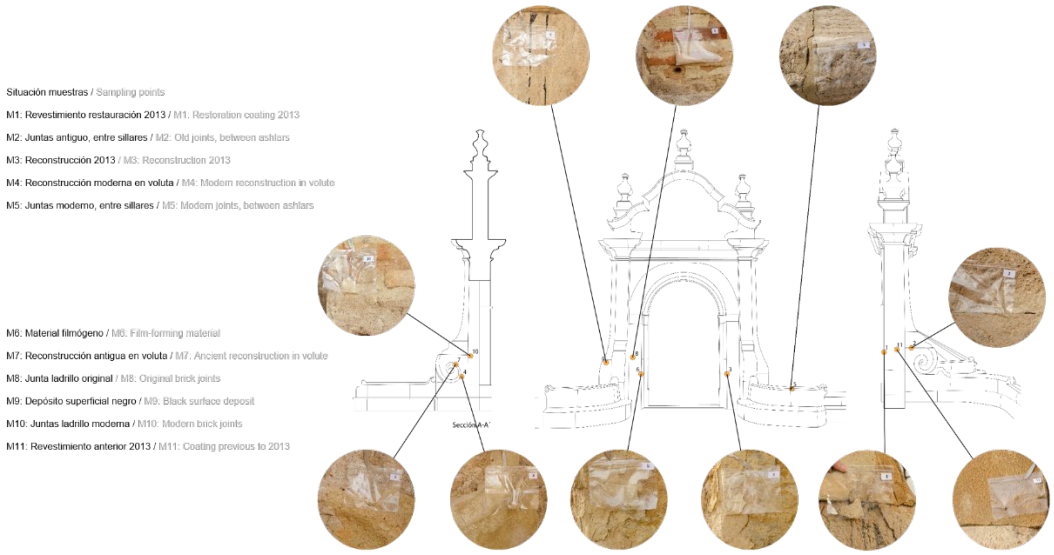


Figura 1. Gráfico de situación de las muestras extraídas para los análisis.
Figure 1. Situation graph of the samples extracted for analysis.

A) Análisis no invasivos

Los ensayos no invasivos son aquellos que no requieren de una extracción de muestras y no provocan un daño al bien objeto de estudio. Para ello se utiliza una metodología basada en las normas y los estudios reconocidos a nivel internacional.

1) Examen organoléptico. A partir de la clasificación aceptada internacionalmente del ICOMOS, se identifican visualmente las lesiones en el bien cultural.

2) Medición de la absorción de agua por el método de la pipeta de acuerdo con la norma **UNE-EN 16302:2016**. El ensayo de la pipa o del tubo manométrico consiste en una prueba que utiliza un tubo graduado de 1 cm^2 de sección que se pone en contacto con la superficie a ensayar. Este tubo lleno de agua ejerce una presión sobre el muro equivalente a su altura (SANJUAN, 2012). La pipeta se fija con una masilla impermeable y se rellena con agua. A continuación, se anota el volumen de agua absorbido por el soporte en intervalos determinados de tiempo (ALEJANDRE, 2002). A través de este sencillo ensayo, se puede evaluar el comportamiento hídrico del material que está relacionado con su porosidad abierta. De igual modo, proporciona información sobre su nivel de deterioro si se comparan los resultados obtenidos con los del mismo material sin ninguna patología y, en el presente caso de estudio permite contrastar el comportamiento hídrico entre los diferentes morteros presentes. A modo de ejemplo, la **Tabla 1** muestra los resultados del ensayo donde se evidencia la escasa capacidad de absorción de los morteros aplicados en el monumento.

Tabla 1. Resultados de los ensayos con la pipeta Karsten.
Table 1. Results of the Karsten pipette tests.

Situación Situation	M1. Mortero revestimiento anterior 2013 M1. Coating mortar before 2013	M2. Mortero revestimiento, 2013 M2. Coating mortar, 2013	M3. Mortero reconstrucción voluta M3. Volute reconstruction mortar
Resultado al finalizar 10´ Result after 10'.	0,05 ml. Impermeable. 0,05 ml. Waterproof.	0,1 ml. Impermeable. 0,1 ml. Waterproof.	0 ml. Sin actividad capilar. 0 ml. No capillary activity.

3) Peeling Test. Esta sencilla metodología se realiza in situ para evaluar el estado de disgregación que presenta el material en superficie, o para comprobar el efecto de un proceso de consolidación comparándose el comportamiento del material antes y después del tratamiento. El ensayo normalizado, publicado por **Drácky y SlízKová** (2015), propone la aplicación de tiras de cinta adhesiva, de 1 a 2 cm de ancho por 5 cm de longitud, en varias zonas representativas del soporte pétreo, con y sin alteraciones, de modo que puedan tomarse referencias y compararse. Transcurridos 90" las tiras se retiran firmemente en ángulo de 90º, se pesan (P1) y promedian. En la **Tabla 2** se presentan los resultados del ensayo donde se evidencia el grado de pérdida de masa de las zonas testadas.

A) Non-invasive tests

Non-invasive tests are those that do not require sample extraction and do not cause damage to the object under study. A methodology based on internationally recognised standards and studies is used for this purpose.

1) Organoleptic examination. Based on the internationally accepted ICOMOS classification, lesions on the Cultural Heritage are visually identified.

2) Measurement of water absorption by the pipette method according to UNE-EN 16302:2016. The pipette or manometric tube test consists of a test that uses a graduated tube of 1 cm^2 section that is placed in contact with the surface to be tested. This water-filled tube exerts a pressure on the wall equivalent to its height (SANJUAN, 2012). The pipette is fixed with a waterproof mastic and filled with water. The volume of water absorbed by the support at given intervals is then recorded (ALEJANDRE, 2002). Through this simple test, the water behaviour of the material, which is related to its open porosity, can be evaluated. Likewise, it provides information on its level of deterioration if the results obtained are compared with those of the same material without any pathology and, in this case study, it allows the water behaviour of the different mortars present to be contrasted. For instance, **Table 1** shows the results of the test, where the low absorption capacity of the mortars applied to the monument is evident.

3) Peeling Test. This simple methodology is performed in situ to evaluate the state of disintegration of the material on the surface, or to check the effect of a consolidation process by comparing the behaviour of the material before and after treatment. The standardised test, published by Drácky and SlízKová (2015), proposes the application of strips of adhesive tape, 1 to 2 cm wide by 5 cm long, on several representative areas of the stone support, with and without alterations, so that they can be referenced and compared. After 90" the strips are firmly removed at a 90º angle, weighed (P1) and averaged. **Table 2** presents the test results showing the degree of mass loss of the tested areas.

Tabla 2. Resultados del "peeling test".
Table 2. Peeling test results.

	M1		M2		M3		M4		M5	
P_0 (g)	1,01		1,02		1,00		1,00		0,99	
P_1 (g)	1,03		1,09		1,08		1,01		1,03	
Δ%	1,98		6,86		8,00		1,00		4,04	
Grado desagregación Disaggregation grade	Alto /High		Alto / High		Muy alto/ Very high		Muy bajo / Very low		Bajo / Low	

4) Chemical composition. The drop test with hydrochloric acid (HCl 1M) is a simple test that allows a quick identification of the chemical-mineralogical composition of the materials present in the works when a drop of acid solution is deposited. In this sense, if an effervescence reaction occurs in the material tested, it will indicate that it contains carbonated material. This test, although it does not require the extraction of samples, does produce damage, minimal in this case, to the building by the chemical attack produced in the material where the drop of acid is deposited, so it is a minimally invasive test. **Table 3** shows the results obtained from the HCl drop test in different areas of the monument.

B) Invasive analysis

1) Sampling of cultural heritage materials (standard UNE-EN 16085:2014) is always an invasive action that must be justified, previously assessing whether the same information can be obtained by non-invasive methods, and if it is carried out, it must be duly documented by locating the extraction points on the corresponding plan/view and the samples must be duly referenced. In this specific case, the extraction of samples (figure 1) has allowed the morphological characterisation of the different mortars existing on the site.

4) Composición química. El ensayo de la **gota con ácido clorhídrico** (HCl 1M) es una sencilla prueba que permite una rápida identificación de la composición químico-mineralógica de los materiales presentes en las obras al depositarse una gota de ácido. En este sentido, si en la zona testada se produce una reacción de efervescencia será indicativo de que contiene material carbonatado. Este ensayo, aunque no requiere de extracción de muestras sí que produce un daño, mínimo en este caso, en la obra por el ataque químico producido en el material donde se deposita la gota de ácido, por lo que se trata de un ensayo mínimamente invasivo. En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos del ensayo de la gota de HCl en diversas zonas del monumento.

Tabla 3. Ensayo de la gota HCl. / Table 3. HCl drop test.

Nº	Material /Material	Reacción Reaction	Observaciones Observations	Fotografía Photography
Morteros de juntas / Joint mortars				
M5	Moderno entre sillares del banco. Modern between bench ashlars.	****	Muy alto contenido en material carbonático. Very high content of carbonate material	
M8	Original entre ladrillos. Original between bricks.	***	Alto contenido en material carbonático. High content of carbonate material	
Mortero reconstrucción. / Reconstruction mortar.				
M3	Restauración 2013 en lateral de arco. Restoration 2013 on the side of the arch.	***	Alto contenido en material carbonático. High content of carbonate material	
M7	Antiguo en voluta de basamento. Old mortar on plinth volute.	*	Muy bajo contenido en material carbonático y alto en aglomerante terroso. Very low content of carbonate material and high in earthy binder.	
Otros materiales. / Another materials.				
M0.b	Ladrillo. Brick.	*	Muy bajo contenido carbonático. Very low content of carbonate material	

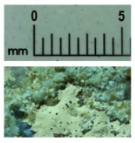
B) Análisis invasivos

1) La **toma de muestras** de materiales del patrimonio cultural (norma **UNE-EN 16085:2014)** es siempre una acción invasiva que debe estar justificada, valorándose previamente si puede obtenerse la misma información por métodos no invasivos, y en caso de realizarse ha de estar debidamente documentado localizando los puntos de extracción en el correspondiente plano/vista y las muestras han de referenciarse debidamente. En este caso concreto, la extracción de muestras (figura 1) ha permitido la caracterización morfológica de los distintos morteros existentes en la obra.

2) Caracterización de morteros. En primer lugar, se debe realizar una clasificación dependiendo de su función (mortero de juntas, de rejuntado, de reparación, de agarre, entre otros); después, se estudian las características macroscópicas como color, textura, aspectos estructurales y estado aparente. Por último, tomadas las muestras, se selecciona el tipo de análisis en función de una observación macroscópica o microscópica, como se explica en la norma **UNE-EN 17187**. También se puede determinar el color de la superficie según norma **UNE-EN 15886**, o usar la carta **Munsell.** En este caso concreto de estudio (**Tabla 4**), han sido observados al microscopio USB diversas características de las muestras extraídas: color, tamaño y distribución de las partículas, forma, estado de agregación, carácter superficial e inclusiones, entre otras (OSETE, 2019a, 2019b; UNE-EN 17187:2020). Estos resultados deben tenerse en consideración a la hora de preparar los morteros de restauración en las fases de intervención. La selección de los componentes principales de los morteros atiende a las características de los conglomerantes según colección de normas AENOR UNE del comité **CTN 80-Cementos y cales**. En el caso de los áridos, la norma que especifica las propiedades es la **UNE-EN 13139:2003 y UNE-EN 13139/AC:2004**. En ella se establecen los siguientes tipos: naturales, artificiales y reciclados, y se designan en función de su tamaño como grueso, fino y filler del árido. En el caso del agua de amasado, según la **EHE 08**, en general puede ser cualquiera que sea potable y todas las aceptadas por la práctica. Por último, los aditivos, según la norma **UNE-EN 934-1:2009**, son sustancias o productos que, incorporados al mortero antes o durante el amasado, en una proporción no superior al 5 % del peso del conglomerante, producen la modificación deseada en estado fresco y/o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

2) Mortars characterisation. Firstly, a classification must be made depending on its function (joint mortar, grout, repair mortar, bonding mortar, among others); then, macroscopic characteristics such as colour, texture, structural aspects and apparent state are studied. Finally, once the samples have been taken, the type of analysis is selected according to a macroscopic or microscopic observation, as explained in the UNE-EN 17187 standard. The colour of the surface can also be determined according to the UNE-EN 15886 standard or using the Munsell chart. In this specific case study (**Table 4**), various characteristics of the extracted samples have been observed under the USB microscope: colour, particle size and distribution, shape, state of aggregation, surface character and inclusions, among others (OSETE, 2019a, 2019b; UNE-EN 17187:2020).

Tabla 4. Caracterización morfológica de algunos de los materiales del bien cultural.

Nº	Material Material	Aspecto Appearance	Árido Arid	Ligante Binder	Otros Other	Fotografía Photography
Morteros superficiales de revestimiento. / Surface coating mortars.						
M1	Restauración 2013. Restoration 2013.	• Ocre claro. • Poroso. • Poco compacto. • Light ochre • Porous • Not highly compacted	• Distribución heterométrica. • Tonalidades variadas. • Forma angulosa y subangulosa. • Heterometric distribution. • Varied tones. • Angular and subangular shape.	• Ocre claro, con algunas partículas sueltas. • Cohesión media. • Light ochre, with some loose particles. • Medium cohesion.	• Con manipulación: pérdida material. • Revestimiento pictórico con lagunas. • With handling: material loss. • Pictorial coating with gaps.	
Morteros de juntas. / Joint mortars						
M5	Moderno, entre sillares del banco. Modern, between bench ashlars.	• Grisáceo • Poco poroso. • Compacto. •Greyish •Not very porous. • Compact.	• Distribución homométrica. • Tonalidades poco variadas. • Forma subangulosa. • Homometric distribution. • Not very varied shades. • Subangular shape.	• Gris, con pequeñas oquedades y sin partículas sueltas. • Alta cohesión. • Grey, with small hollows and no loose particles. • High cohesion.	• Con manipulación: sin pérdida material. • Sin revestimiento pictórico. • With handling: no material loss. • Without pictorial coating.	
Morteros de reconstrucción volumétrica. / Volumetric reconstruction mortars.						
M7	Antiguo en reconstrucción de voluta de basamento. Old mortar from reconstruction of the plinth volute.	• Ocre. • Ligeramente poroso. • Bastante compacto. • Ochre. • Slightly porous. • Very compact.	• Distribución heterométrica. • Tonalidades variadas. • Forma angulosa y subangulosa. • Heterometric distribution. • Varied tones. • Angular and subangular shape.	• Crema claro, con bastantes oquedades y algunas partículas sueltas. • Light cream, with a lot of voids and some loose particles.	• Con manipulación: alguna pérdida material. • Sin revestimiento pictórico. • With manipulation: some material loss. • Without pictorial coating.	

These results must be taken into consideration when preparing the restoration mortars in the intervention phases. The selection of the main components of the mortars is based on the characteristics of the binders according to the collection of AENOR UNE standards of the CTN 80 Committee - Cements and limes. In the case of aggregates, the standard that specifies the properties is UNE-EN 13139:2003 and UNE-EN 13139/AC:2004. It establishes the following types: natural, artificial and recycled, and they are designated according to their size as coarse, fine and filler of the aggregate. In the case of the mixing water, according to EHE 08, in general it can be any potable water and all those accepted in practice. Finally, additives, according to the UNE-EN 934-1:2009 standard, are those substances or products that, when incorporated into the mortar before or during mixing, in a proportion not exceeding 5 % of the weight of the binder, produce the required modification in the fresh and/or cured state, of some of its characteristics, of its usual properties or of its behaviour.

Diagnóstico. Resultados y discusión

A partir de los análisis realizados, del estudio del estado de conservación y de los factores de deterioro, se establece un diagnóstico previo del estado actual. En este sentido, y para el caso concreto de la obra "La Puerta de Benetússer", el ensayo de la gota de HCl evidencia que el material pétreo es una piedra caliza, lo que determinará las actuaciones a realizar sobre ella. En cuanto a los morteros, su desigual comportamiento indica la presencia de materiales de diferentes características químico-mineralógicas, lo que aporta un dato más en el proceso de identificación, que se completa posteriormente con su caracterización morfológica. La ligera reacción que se aprecia en el ladrillo se identifica con contenidos bajos de calcita, normalmente utilizada como desgrasante y que parece estar todavía presente, debido seguramente a una cocción no demasiado elevada (<900C), lo que indica un proceso de fabricación artesanal, que coincide con el estilo y la época de la obra (MORALES, 2005). Asimismo, tanto el peeling test como el ensayo de la pipa y la caracterización morfológica confirman la existencia de numerosos materiales distintos, resultado de diferentes intervenciones y con desiguales estados de conservación. Conviven varios morteros de revestimiento con diferentes espesores que están perjudicando el monumento, impidiendo su correcta transpiración al ser excesivamente impermeables, al mismo tiempo que le aportan una imagen estéticamente inadecuada. Lo mismo sucede con los morteros de las reconstrucciones volumétricas y los de relleno de las distintas juntas, tanto de los sillares como los de los ladrillos. Estos últimos crean una barrera que impide la transpiración de esta zona, favoreciendo la acumulación de humedad y procesos de degradación como eflorescencias. Todos estos datos permiten plantear la propuesta de intervención que cerrará el plan de actuación.

Propuesta de intervención

La redacción de la propuesta de tratamientos viene establecida de acuerdo con el código ético **ECCO (2002),** según el cual el conservador-restaurador debe respetar el patrimonio puesto a su cuidado, tener en cuenta su uso social, limitar los tratamientos a los estrictamente necesarios, utilizar los productos y procedimientos adecuados que sean compatibles y no dañen, debe documentar todo el proceso y trabajar siempre al mayor nivel posible con independencia de otras opiniones más comerciales o políticas. De igual modo, deben tomarse en consideración los criterios de intervención sobre materiales pétreos planteados conforme a la norma **UNE-EN 41810:2017.**

Conclusiones

Las conclusiones que se desprenden de este trabajo llevado a cabo sobre la obra "La Puerta de Benetússer" (Valencia) son:

La aplicación de análisis morfológicos y estudios organolépticos, basados en estándares internacionales y glosarios reconocibles, ha permitido determinar el estado de conservación del bien, así como la identificación de sus daños. Los ensayos realizados han evidenciado los daños que amenazan la integridad de los materiales. Los estudios desarrollados desde procedimientos normalizados proporcionan mayor validez a los resultados, permiten intercambio de información con paralelos y facilitan la toma de decisión tanto en la propuesta como en el proceso de intervención. Además, se comprueba que, las intervenciones realizadas sin un estudio previo de compatibilidad de materiales muestran respuestas que no solo dañan el material original sino también a los propios añadidos. Todos estos resultados son producto de procesos y análisis sencillos con medios auxiliares modestos y al alcance de cualquier técnico. Únicamente es imprescindible su aplicación ordenada, con terminologías universales y bajo la normativa existente para que los resultados ofrezcan unas garantías de calidad y unas conclusiones que puedan ser contrastadas.

Diagnosis. Results and discussion

Based on the analyses carried out, the study of the state of conservation and the factors of deterioration, a preliminary diagnosis of the current state is established. In this sense, and for the specific case of the work "La Puerta de Benetússer", the HCl drop test shows that the stone material is limestone, which will determine the actions to be carried out on it. As for the mortars, their unequal behaviour indicates the presence of materials with different chemical-mineralogical characteristics, which provides another piece of information in the identification process, which is later completed with their morphological characterisation. The slight reaction seen in the brick is identified with a low calcite content, normally used as a degreasing agent and which seems to be still present, probably due to a not too high firing (<900C), which indicates a handmade manufacturing process, which coincides with the style and period of the work. Likewise, both the peeling test and the pipe test and the morphological characterisation confirm the existence of numerous different materials, resulting from different interventions and in different states of preservation. There are several coating mortars with different thicknesses that are damaging the monument, preventing it from transpiring properly as they are excessively impermeable, at the same time as they give it an aesthetically inadequate image. The same is happening with the mortars used in the volumetric reconstructions and the mortars used to fill the different joints, both in the blocks of stone and in the bricks. They create a barrier that prevents the transpiration of this area, favouring the accumulation of humidity and degradation processes such as efflorescence. All these data allow us to propose the intervention that will complete the action plan.

Intervention proposal

The drafting of the treatment proposal is established in accordance with the ECCO code of ethics (2002), according to which the conservator-restorer must respect the heritage under his care, take into account its social use, limit treatments to those strictly necessary, use appropriate products and procedures that are compatible and not destructive, document the entire process and always work at the highest possible level independently of other more commercial or political opinions. Similarly, the criteria for intervention on stone materials set out in accordance with the UNE-EN 41810:2017 standard must be taken into consideration.

Conclusions

The conclusions of this study carried out on the work "La Puerta de Benetússer" (Valencia) are as follows:

The application of morphological analyses and organoleptic studies, based on international standards and recognisable glossaries, has made it possible to determine the state of conservation of the asset, as well as to identify its damage. The assays carried out have revealed the damage that threatens the integrity of the materials. The studies carried out using standardised procedures provide greater validity to the results, allow the exchange of information with other studies and facilitate decision making both in the proposal and in the intervention process. Furthermore, it has been found that interventions carried out without a prior study of material compatibility show reactions that not only damage the original material but also the additions themselves. All these results are the product of simple processes and analyses with modest auxiliary means and available to any technician. It is only essential to apply them in an orderly manner, with universal terminology and in accordance with existing regulations so that the results offer quality guarantees and conclusions that can be contrasted.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

-AENOR. *UNE-EN 934-1:2009 Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 1: Requisitos comunes*
-AENOR. *UNE-EN 998-1:2018 Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido* y *UNE-EN 998-2:2018 Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería.*
-AENOR. *UNE-EN 12440:2019 Piedra natural. Criterios de denominación.*
-AENOR. *UNE- EN 12670:2020 Piedra Natural. Terminología.*
-AENOR. *UNE-EN 13139:2003 y UNE-EN 13139/AC:2004 Áridos para morteros.*
-AENOR. *UNE-EN 15886:2011 Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies.*
-AENOR. *UNE-EN 16302:2016 Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición de la absorción de agua por el método de la pipeta*.
-AENOR. *UNE-EN 16085:2014 Conservación del patrimonio cultural. Metodología para la toma de muestras de materiales del patrimonio cultural. Reglas generales*.
-AENOR. *UNE-EN 17187:2020 Conservación del Patrimonio Cultural. Caracterización de morteros utilizados en el patrimonio cultural.*
-AENOR. *UNE-EN 41810:2017 Conservación del patrimonio cultural. Criterios de intervención en materiales pétreos.*
-ALEJANDRE, F.J. (2002) *Historia, caracterización y restauración de morteros*. Sevilla: Universidad de Sevilla. ISBN 8447207730.
-CONFEDERACIÓN EUROPEA DE ORGANIZACIONES DE CONSERVADORES-RESTAURADORES. (2002) D*irectrices profesionales de E.C.C.O: la profesión y su código ético. Bruselas. E.C.C.O.*
-DRDÁCKÝ, M. y SLÍŽKOVÁ, Z. (2015) "In situ peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic plaster and render surfaces", *Studies in Conservation,* 60 (2), pp.121-130. Praga: The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. ISSN 00393630.
-HORNEMAN INSTITUT. (2015) *Proyecto EwaGlos*. Recurso online: http://projekte.hawk-hhg.de/ewaglos/
-ICOMOS-ISCS-COMITÉ INTERNACIONAL DE LA PIEDRA. (2011) *Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra*. Paris: ICOMOS.
- LABORDE et al (2013). Proyecto Coremans: Criterios de intervención en materiales pétreos. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Secretaría General Técnica, Subdirección General de documentación y publicaciones. ISBN 9788481815627
-MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA. MITMA. (2017) "Materiales y Geometría". En: EHE 08. Instrucción de Hormigón estructural (IV), pp 47-84.
-MORALES, J. (2005) *Tecnología de los materiales cerámicos.* Madrid: Díaz de Santos.
ISBN 8479787228
-Orden de 27 de julio de 1988 por la que se aprueba el pliego general de condiciones para la recepción de los ladrillos cerámicos en las obras de construcción RL-88. Publicado en BOE nº 185 de 3-08-1988 pp.23921-23924.
-OSETE, L. (2019a) *Características morfológicas*. Video. Recurso online: https://bit.ly/316oZcj
-OSETE, L.(2019b) *Otras características morfológicas.* Video. Recurso online: https://bit.ly/3fQ6gpc
-REEDY, T. y REEDY, C. (1988). *Statistical Analysis in Art Conservation Research.* USA. The Getty Conservation Institute. ISBN. 0-89236-097-6.
-SANJUAN, C. (2012) "Ensayo de permeabilidad en fachadas tubo en L o tubo Rilem", P*atología + Rehabilitación + Construcción. Web de información y formación para profesionales y estudiantes*. [Consulta 6-02-2021]. Recurso online: https://bit.ly/tuboL1vwW

PROPUESTA DE INTERVENCIÓN Y PUESTA EN VALOR DEL BIEN CULTURAL CONOCIDO COMO PUERTA DE BENETÚSSER O DE FAVARA. (VALENCIA, ESPAÑA)

INTERVENTION PROPOSAL AND ENHANCEMENT OF THE CULTURAL HERITAGE KNOWN AS THE BENETÚSSER GATE OR FAVARA GATE. (VALENCIA, SPAIN)

E. Arias Valera

Arquitecta Técnica. Graduada en Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Universidad Politécnica de Valencia / Building Engineer. Graduated in Conservation and Restoration of Cultural Heritage. *E-mail:engracia05@gmail.com*

L. Osete Cortina

Investigadora en el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio. Universitat Politècnica de València. Profesora Asociada en el Dpto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Facultad de Bellas Artes, UPV. Doctora en Química por la UV. Researcher in the Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio. Associate Professor at the Department of Conservation and Restoration of Cultural Assets, Faculty of Fine Arts, UPV. PhD in Chemistry. E-mail: losete@crbc.upv.es

X. Mas-Barberà

Investigador en el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio. Universitat Politècnica de València. Profesor Catedrático de Universidad, Conservador y restaurador de escultura y ornamentos. Doctor en Bellas Artes por la UPV. Researcher in the Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio. Senior Professor at the UPV, Conservator and restorer of sculpture and ornaments. PhD in Fine Arts. E-mail: jamasbar@upvnet.upv.es

Abstract

This paper presents the Cultural Asset known as "Puerta de Benetússer" or "Puerta de Favara" (c. 17th century), located in Benetusser (Valencia, Spain). Also, historical and stylistic information is collected to understand the monument in its environment, its materials are studied through tests carried out in situ (karsten pipette, peeling test, HCl drop test) and morphological characterisation of samples taken from the multiple mortars that have been added to the monument are carried out. Similarly, the agents of degradation are analysed and the pathologies affecting the three original materials (stone, exposed brick and mortar cladding) are determined, observing the interactions between them. The most important damages are the presence of humidity, both by capillarity from the ground and by runoff, and anthropic actions such as vandalism or previous incorrect interventions. Thus, an intervention proposal is put forward to minimise the pathologies, based on the elimination of the elements that disturb the aesthetics of the monument and at the same time damage it, and their restitution with others that are more respectful. Finally, preventive conservation guidelines are recommended to avoid the reappearance of new damage and heritage revaluation actions are proposed to enhance the social activation of the monument in the population.

Keywords

Puerta Antigua Casa Señorial Benetússer. Arquitectura local. Piedra Tosca de Rocafort. Estudio de intervención. Reactivación social. / Door Old Benetússer Manor House. Local architecture. Stone Tosca de Rocafort. Intervention study. Social reactivation

Introducción

Benetússer es un pequeño municipio a la sombra de Valencia. La población ha crecido muy rápidamente, ocupando todo el término, convirtiéndose en el típico pueblo dormitorio y descuidando su patrimonio monumental. Es por ello que, el único vestigio de un pasado asociado a una de las grandes familias valencianas, como es la Puerta (Figura 1), se encuentra en estos momentos en un estado precario. Se aporta con este trabajo un estudio de su estado actual, para poder realizar una propuesta que le devuelva, al menos en parte, su importancia y belleza original.

Para conseguirlo, se ha buscado información histórica y estilística para, después de haber realizado las pruebas analíticas, argumentar las soluciones más idóneas. Los materiales empleados en la realización de la Puerta fueron la piedra, el ladrillo y el mortero, sin embargo, la mayoría de las patologías presentes en la actualidad son causadas por los diversos añadidos realizados en intervenciones posteriores. En este sentido, el estudio se centra en analizar sus características y su compatibilidad con respecto a los materiales originales. Por último, tan importante como su restauración material, es potenciar su valor local, con acciones encaminadas a conseguir que la gente vuelva a sentir la Puerta como parte de su patrimonio cultural, como un símbolo identitario de su pasado más reciente. Se ha demostrado, tras la restauración realizada en el 2013, que cualquier tratamiento es en vano sin un plan de difusión y de mantenimiento. Con el fin de revalorizar el monumento, se han aportado propuestas de reactivación social que solo son un ejemplo de posibles acciones a realizar.



Figura 1(a-b). Puerta de Benetússer. a) Orientación este. b) Orientación norte.
Figure 1(a-b). Benetússer Gate. a) East orientation. b) North orientation.

Caso de estudio: La puerta de Benetússer

La Puerta de Benetússer, también conocida como Puerta de Favara, se llama así por actuar como puente de entrada a la población sobre la acequia que da su mismo nombre. La historia de Benetússer está ligada durante casi 500 años a una familia, los Rabassa de Perellós, fundadores de la casa de Dosaguas. Se inicia el 27 de abril de 1351 cuando Giner Rabassa “El Mayor” compra la señoría de Benetússer y finaliza en 1843, cuando muere el último descendiente. Se establece así una conexión entre el sitio y el devenir de esta antigua familia valenciana, su ascenso y su decadencia, materializado en una casa señorial que tristemente desaparece en 1934, quedando como último vestigio su puerta de acceso al huerto. La casa, enclavada en un entorno como es el de la huerta valenciana, tiene un origen arquitectónico de carácter rural. La puerta monumental forma parte de su segunda etapa constructiva, alrededor del s. XVII. Todo ello en el estilo del momento, finales del manierismo, principios del Barroco (GARCÍA, 2018).

La puerta a lo largo de su historia ha vivido varias modificaciones en su aspecto. Durante un tiempo estuvo tapiada, sirviendo de apoyo a una cruz. Más tarde se eliminó la tapia, volviendo a su uso primigenio de paso y como pequeño puente sobre la acequia, utilidad que se perdió cuando ésta se cubrió en su totalidad, en la década de los 80 del s. XX. Ha sufrido diversas reparaciones, siendo la última la realizada en marzo del 2013 por parte de una supuesta empresa especializada en restauraciones de fachadas.

Introduction

Benetússer is a small village in the shadow of Valencia. The population has grown very quickly, occupying the entire municipality, becoming a typical dormitory town and neglecting its monumental heritage. For this reason, the only vestige of a past associated with one of the great Valencian families, the Puerta (Figure 1), is currently in a precarious state. This work provides a study of its current state, in order to make a proposal to restore, at least in part, its original importance and beauty.

To achieve this, historical and stylistic information has been sought in order to, after having carried out analytical tests, argue the most suitable solutions. The materials used in the construction of the gate were stone, brick and mortar; however, most of the pathologies present today are caused by the various additions made in recent interventions. In this sense, the study focuses on analysing their characteristics and their compatibility with the original materials. Finally, just as important as its material restoration is the enhancement of its local value, with actions aimed at making people feel the Gate as part of their cultural heritage, as an identifying symbol of their most recent past. It has been demonstrated, after the restoration carried out in 2013, that any treatment is in vain without a dissemination and maintenance plan. In order to enhance the value of the monument, proposals for social reactivation have been put forward, which are an example of possible actions to be carried out.

Case study: The Benetússer Gateway

The Benetússer Gate, also known as the Favara Gate, is so called because it acts as an entrance bridge to the village over the irrigation channel of the same name. The history of Benetússer has been linked for almost 500 years to one family, the *Rabassa de Perellós,* founders of the house of *Dosaguas*. It begins on 27 April 1351 when *Giner Rabassa "El Mayor*" bought the manor of Benetússer and ends in 1843, when the last descendant died. A connection is thus established between the site and the evolution of this ancient Valencian family, its rise and decline, materialised in a manor house that sadly disappeared in 1934, the last vestige of which was the gateway to the garden. The house, set in an environment such as the Valencian orchard, has an architectural origin of rural character. The monumental door is part of its second construction stage, around the 17th century. All in the style of the time, late Mannerism, early Baroque (GARCÍA, 2018).

Throughout its history, the door has suffered several modifications in its appearance. For a time it was walled up, serving as a support for a Cross. Later the wall was removed, returning to its original use as a passageway and as a small bridge over the irrigation water canal, a use that was lost when it was completely covered in the 80s of the 20th century. It has undergone several repairs, the last of which was carried out in March 2013 by a company supposedly specialising in façade restoration.

In this case, it can be seen that the property is made of stone, combined with solid red brick, the latter plastered for the most part, leaving only the part of the arch visible. The stone material used is Tosca de Rocafort, a carbonate sedimentary rock of the limestone family with a characteristic travertine structure, light beige in colour. The brick, which is combined with the stone, is quite sensitive to salts and frost due to its porosity. Brick clays are sometimes found mixed with evaporite materials and may contain salts if the material has not been well controlled during manufacture (GARCÍA, 2009).

State of conservation

The mechanisms or agents that alter a material are varied and complex, and it is generally impossible to isolate a single one as the only responsible, being the combination of two or more of them the cause of the alterations. These are classified for study as physical (those produced in the extraction and working process, thermal changes, water, wind), chemical (soluble salts, atmospheric pollutants), biological (micro-organisms, plants and animals) and anthropic (vandalism, interests and fashions, inappropriate interventions). Finally, natural disasters such as floods and earthquakes can also be causes of alterations (MAS, 2010; LABORDE et al, 2013).

In the case under study, water is one of the main agents of deterioration. It affects the work by capillary rise or by forming runoffs that create humid areas where biocolonies flourish and dirt accumulates. Another important agent is anthropogenic, with the accumulation of multiple interventions. All these alterations give rise to pathologies that can be classified according to ICOMOS (2011) in five main families: cracks and deformations, detachments, features induced by loss of material such as erosions or abrasions, chromatic alterations such as damp stains and deposits and, finally, biological colonisations (Figure 2).

En este caso, se observa que el bien se compone de piedra, combinada con ladrillo rojo macizo, éste último enlucido en su mayoría, dejando únicamente vista la parte del arco. El material pétreo utilizado se trata de Tosca de Rocafort, roca sedimentaria carbonatada de la familia de las calizas que posee una estructura travertínica característica, de color beige claro. El ladrillo, que se combina con la piedra, debido a su porosidad es bastante sensible a las sales y heladas. Las arcillas de los ladrillos se encuentran a veces mezcladas con materiales evaporíticos y pueden contener sales si no se ha efectuado un buen control del material en su fabricación (GARCÍA, 2009).

Estado de conservación

Los mecanismos o agentes que alteran un material son variados y complejos, y generalmente es imposible aislar uno solo como único responsable, siendo la combinación de dos o más de ellos los causantes de las alteraciones. Estos se clasifican para su estudio en físicos (los producidos en el proceso de extracción y labra, cambios térmicos, agua, viento), químicos (sales solubles, contaminantes atmosféricos), biológicos (microorganismos, plantas y animales) y antrópicos (actos vandálicos, intereses y modas, intervenciones inadecuadas). Por último, los desastres naturales como inundaciones y terremotos también pueden ser causas de alteraciones (MAS, 2010; LABORDE et al, 2013). En el caso objeto de estudio, el agua es uno de los principales agentes de deterioro. Ésta afecta a la obra por fenómenos de ascensión capilar o formando escorrentías que crean zonas de humedad en las que florecen biocolonias y se acumula mugre. Otro agente importante es el antrópico, con acumulación de múltiples intervenciones. Todas estas alteraciones originan unas patologías que se pueden clasificar según ICOMOS (2011) en cinco grandes familias: grietas y deformaciones, desprendimientos, rasgos inducidos por pérdida de material como erosiones o abrasiones, alteraciones cromáticas como manchas de humedad y depósitos y, por último, colonizaciones biológicas (fig. 2).



Figura 2 (a-e). Ejemplos de patologías de cada una de las familias: a) Familia 1. Fisura en mortero. b) Familia 2: Delaminación en mortero moderno. c) Familia 3: Erosión en una de las volutas. d) Familia 4: Alteración cromática. e) Familia 5: Plantas

Figure 2 (a-e). Examples of pathologies of each of the families: a) Family 1: Cracking in mortar. b) Family 2: Delamination in modern mortar. c) Family 3: Erosion in one of the volutes. d) Family 4: Chromatic alteration. e) Family 5: Plants.

La realización de un correcto diagnóstico requiere de un estudio detallado de todas las patologías del monumento a través de un examen organoléptico (Fig. 3). También se precisan de unos ensayos no invasivos, in situ, como son el de la pipeta Karsten, que evalúa el comportamiento hídrico del material (UNE-EN 16302:2016), el ensayo de peeling test que indica el estado de desagregación y, el análisis de la gota de ácido clorhídrico (HCL 1M) que permite identificar si contiene material carbonatado. Por último, se realiza una toma de muestras de los distintos morteros para efectuar una caracterización morfológica y obtener información de la naturaleza de los materiales que lo conforman y de su estado de conservación.

Fase de diagnóstico

A partir de todos los datos recogidos, los análisis realizados, el estudio del estado de conservación y de los factores de deterioro, se realiza el diagnóstico de la obra. Se evidencia la existencia de numerosos morteros resultado de diversas intervenciones de diferente naturaleza y con desiguales grados de conservación, como es el caso de los añadidos modernos que están visiblemente deteriorados, con comportamientos distintos y aportando una estética inadecuada al monumento. El relleno de las juntas de los ladrillos presenta una mala adhesión con el antiguo, produciendo abundantes lagunas, además de impedir su correcta transpiración. Así mismo, se destaca el hecho de que el revoco no guarda la estética acorde a la historia del monumento, según ha podido deducirse del estudio estilístico y de las fotografías históricas encontradas.

A correct diagnosis requires a detailed study of all the pathologies of the monument through an organoleptic examination (Fig. 3). Non-invasive in situ tests are also required, such as the Karsten pipette test, which evaluates the hydric behaviour of the material (UNE-EN 16302:2016), the peeling test, which indicates the state of disaggregation, and the analysis of the drop of hydrochloric acid (HCL 1M), which identifies if it contains carbonated material. Finally, samples are taken from the different mortars to carry out a morphological characterisation and obtain information on the nature of the materials that make up the mortar and its state of conservation.

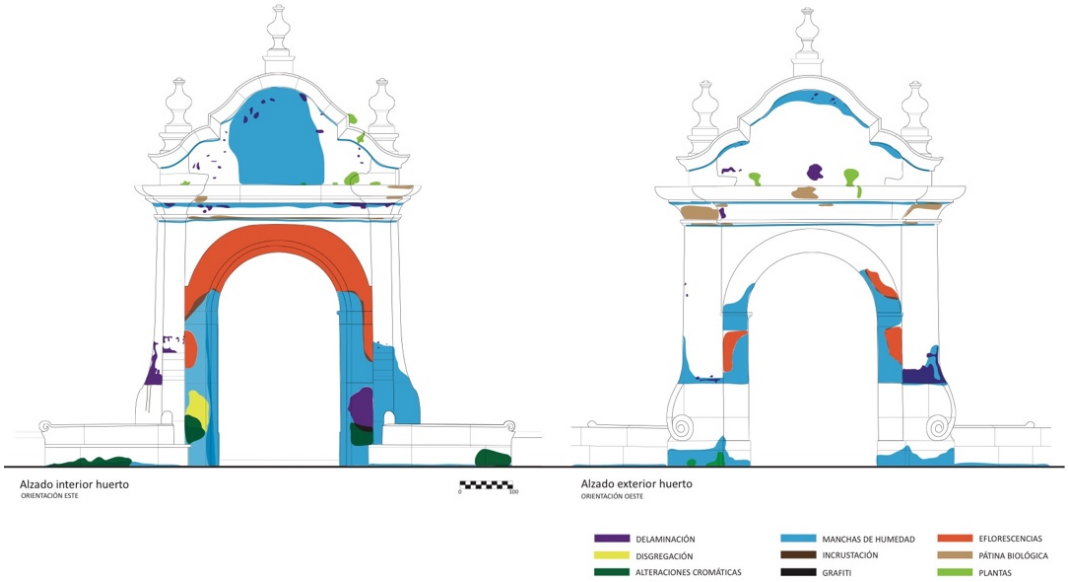


Figura 3. Gráfico de los daños más representativos / Figura 3. Graph of the most representative damages

Diagnosis phase

On the basis of all the data collected, the analyses carried out, the study of the state of conservation and the factors of deterioration, a diagnosis of the work is made. There is evidence of the existence of numerous mortars resulting from various interventions of different nature and with unequal degrees of conservation, as is the case of the modern additions that are visibly deteriorated, with different behaviours and providing an inadequate aesthetic to the monument. The filling of the brick joints shows poor adhesion with the old one, producing abundant gaps, as well as inhibiting the correct transpiration of the bricks. It should also be noted that the plastering is not in keeping with the aesthetics of the monument's history, as can be deduced from the stylistic study and the historical photographs found. The stone and brickwork of the arch are clearly affected by the dampness caused by the water flowing through the irrigation channel. This is combined with dog urine and the mechanical action of some plants that have grown between the corners, where soil and other deposits have accumulated to encourage their growth. Biological colonies are also visible on the ledges. In this context, possible solutions to the state of the mortars could be replacement, partial repair, or conservation. The complete replacement of a mortar, a drastic and invasive measure, is justified if its function is solely protective, if more than a third of it is deteriorated and if it has no historical or artistic value. It is also essential when its composition is such that it damages the rest of the materials with which it is in contact. It is repaired when the lesions are punctual and conserved when the state of the mortar is good or, regardless of its state, when it has historical importance (ALEJANDRE, 2002). In the specific case of this current study, it is advisable to remove all those that are causing damage or altering the aesthetics of the property, as well as the more modern reconstruction, joint and surface mortars.

Intervention proposal. Phases of treatment

In order to be able to provide an adequate restoration proposal, basic intervention procedures must be followed. In this context, the COREMANS Project in the document "Criteria for intervention in stone materials" establishes the bases that any intervention must follow. The process should be properly documented and serve as an educational tool to bring society closer to cultural heritage (LABORDE et al, 2013).

La piedra y el ladrillo del arco están claramente afectados por las humedades originadas por el agua que pasa por la acequia. Esto se une a los orines de los perros y la acción mecánica de algunas plantas que han crecido entre los rincones, donde se acumulan tierras y otros depósitos que favorecen su crecimiento. También se aprecian colonias biológicas en las cornisas.

En este contexto, las posibles soluciones al estado de los morteros pasarían por, sustituir, reparar parcialmente o conservar. La sustitución íntegra de un mortero, un recurso drástico e invasivo, está justificado en el caso de que su función sea únicamente de protección, se encuentre más de la tercera parte deteriorado y carezca de valor histórico o artístico. También resulta imprescindible cuando su composición sea tal, que dañe al resto de materiales con los que se encuentra en contacto. Se repara cuando las lesiones son puntuales y se conserva cuando el estado del mortero es bueno o, independientemente de su estado, cuando tiene importancia histórica (ALEJANDRE, 2002). En el caso concreto de este estudio actual, se aconseja retirar todos los que están causando daño o, alteran la estética del bien, así como los de reconstrucción, los de juntas y, superficiales más modernos.

Propuesta de intervención. Fases de tratamientos

Para poder aportar una propuesta adecuada de restauración, se deben seguir unos criterios básicos de intervención. En este contexto, el Proyecto COREMANS en el documento "Criterios de intervención en materiales pétreos" establece las bases que cualquier intervención debe seguir. El proceso deberá quedar debidamente documentado y servir como herramienta didáctica que favorezca el acercamiento de la sociedad al patrimonio cultural (LABORDE et al, 2013). Dado el emplazamiento de la obra, en primer lugar, se debe crear un espacio de trabajo seguro, acotando el lugar y desviando el tráfico lo suficiente para que se pueda trabajar en condiciones de seguridad idóneas.

A partir de ahí las fases serán las siguientes: **a) Eliminación de morteros de revestimiento y juntas:** Se plantea su retirada por medios mecánicos; los morteros de las juntas y las reconstrucciones se eliminarán a mano por medio de rascadores, espátulas o cinceles, cuidando de no dañar las zonas adyacentes. Los de revestimiento se eliminarán en dos fases, se empezará con picado por medio de un pequeño martillo neumático y se terminará con un sistema de abrasión controlada mediante proyección de árido. **b) Eliminación de los agentes biológicos:** Sobre las plantas se aplicará un herbicida con pulverizador. Se propone uno biológico que no contenga glifosato, ya que plantea dudas sobre su toxicidad, por ejemplo, uno a base de aceites esenciales de tomillo y romero, o con hidroxifosfato natural como principal componente, como el Xekator® en una proporción del 13%. Para la película biogénica se aplicará, con brocha y empapador, un biocida de amplio espectro como el BFA® de Remmers o Biotin T® de CTS. **c) Manchas diversas:** Se eliminarán por medios mecánicos los depósitos de suciedad y las incrustaciones. Para las manchas de tinción se recomienda utilizar productos quelantes de tipo EDTA bi-sódica. Si la porosidad de la piedra no aconseja medios acuosos, se podrán combinar o sustituir por medios mecánicos en seco como la microabrasión controlada. **d) Desalación:** Una vez terminadas las limpiezas se propone dejar secar un tiempo la obra para que se equilibre con el medio ambiente. Las sales que en este momento persistan serán caracterizadas para determinar el método de desalación más adecuado. El más utilizado es el de colocar apósitos de pulpa de celulosa Arbocel® BC1000 en agua sobre las superficies afectadas. También se pueden utilizar medios mecánicos. **e) Consolidación:** Únicamente se plantea en los morteros de juntas antiguos de los ladrillos. Previa limpieza y secado del soporte, se aplicará a pincel un producto en base de silicato de etilo como el Estel® 1000, el Tecnadis® Solidus o Consol de Tecnan, formado principalmente por Ester Etílico de Ácido Silícico en disolución. **f) Reintegración:** Se plantea la sustitución del mortero superficial por uno tradicional de cal siguiendo un diseño de esgrafiado según documentación fotográfica y estilística. En primer lugar, se replantea el despiece del dibujo, se extenderá mortero tradicional de cal (que permite la transpiración del soporte) y arena gruesa en proporción 1:4; cuando haya templado se ejecutará con fratás una segunda capa de dosificación 1:3 con árido más fino y por último una capa de bruñido con el mismo. Cuando esté casi seco se procederá al llagueado y al acabado superficial final. Las juntas entre los sillares deben reponerse con mortero de reconstrucción en dos aplicaciones, en el interior con cal hidráulica natural y arena fina en proporción 1:3 y una capa exterior con cal aérea y arena fina 1:2, ligeramente coloreada con pigmentos naturales. Se propone no reintegrar volumétricamente las zonas con pérdidas de piedra, dado que no es necesario estructuralmente y, el impacto visual que generaría no sería óptimo. Por último, para las volutas internas se plantea una reintegración de tipo cromático que simule el claroscuro de los volúmenes con pigmentos tierra aglutinados en resina termoplástica tipo Acril® 33 o Aquazol® 500 al 3% en agua.

Given the location of the work, first of all, a safe working space must be created, by delimiting the site and diverting traffic sufficiently so that intervention can be carried out in ideal safety conditions. From this point onwards, the phases will be as follows:

a) Removal of coating mortars and joints: The mortars in the joints and reconstructions will be removed by hand using scrapers, spatulas or chisels, taking care not to damage the adjacent areas. Coating shall be removed in two phases, starting with a small pneumatic hammer and finishing with a system of controlled abrasion by spraying aggregate. **b) Elimination of biological agents**: A herbicide shall be applied to the plants with a sprayer. A biological herbicide that does not contain glyphosate is proposed, as it raises doubts about its toxicity, for example, one based on essential oils of thyme, or with natural hydroxyphosphate as the main component, such as Xekator® in a proportion of 13%. For the biogenic film, a broad-spectrum biocide such as BFA® from Remmers or Biotin T® from CTS is applied by brush and drench. **c) Miscellaneous marks**: Dirt deposits and encrustations are removed mechanically. For colour stains, the use of chelating products such as bi-sodium EDTA is recommended. If the porosity of the stone does not recommend aqueous methods, they may be combined with or replaced by dry mechanical techniques such as controlled micro-abrasion. **d) Desalination**: Once the cleaning process has been completed, it is suggested that the work be left to dry for a period of time to allow it to equilibrate with the environment. The salts that persist at this time will be characterised in order to determine the most appropriate desalination method. The most commonly used method is to place Arbocel® BC1000 cellulose pulp dressings in water on the affected surfaces. Mechanical means can also be used. **e) Consolidation**: This only applies to old brick joint mortars. After cleaning and drying the substrate, a product based on ethyl silicate such as Estel® 1000, Tecnadis® Solidus or Tecnan Consol, consisting mainly of silicic acid ethyl ester in solution, will be applied by brush. **f) Reintegration**: The surface mortar will be replaced by a traditional lime mortar following a sgraffito design according to photographic and stylistic documentation. First of all, the drawing will be reconstructed, traditional lime mortar (which allows the support to transpire) and large sand in a proportion of 1:4 will be spread; when it has hardened, a second layer of 1:3 dosage with finer aggregate will be applied with plaster and finally a burnishing layer will be applied with the same. When it is almost dry, the final grouting and surface finish will be carried out. The joints between the blocks of stone must be replaced with reconstruction mortar in two applications, on the inside with natural hydraulic lime and fine sand in a 1:3 ratio and an outer layer with aerial lime and fine sand 1:2, lightly coloured with natural pigments. It is proposed not to reintegrate volumetrically the areas with stone losses, as this is not structurally necessary and the visual impact it would generate would not be optimal. Finally, for the internal volutes, a chromatic reintegration is proposed that simulates the chiaroscuro of the volumes with earth pigments agglutinated in thermoplastic resin such as Acril® 33 or Aquazol® 500 at 3% in water. **g) Protection**. It shall be applied by brush on the lower areas of the monument and by spraying on the upper areas, using a water repellent such as Aquashield® Ultimate by Tecnan or Silo® 111 by CTS. On the other hand, in order to prevent water run-off in the upper areas, 1 mm sheet lead caps will be placed on the cornices, with elimination of cavities and correct creation of slopes, so as not to cause the horizontal accumulation of dust and other elements that in turn favour the appearance of higher plants.

Preventive conservation

In this study of the "Puerta de Benetússer", an annual in-depth revision of the state of all the elements would be recommended, with organoleptic examination and non-invasive analytical studies such as the karsten pipette and conductivity measurements for the control of salts. Guidelines would be provided on how to carry out cleaning and with what type of products, as well as periodic applications of biocides. Finally, maintenance and cleaning of the perimeter area, with deterrents to prevent dog urination.

One of the most important problems of the monument is the capillary rise of humidity brought by the water from the irrigation canal. The most effective option would be to uncover the adjacent areas, leaving a large part of the irrigation canal open, thus allowing greater movement of moisture. This could be done by adding a safety element to prevent accidents, such as the installation of an electro-welded grating (*tramex*).

g) La protección. Se aplicará a pincel en las zonas inferiores del monumento y por pulverización en las superiores, mediante un hidrofugante tipo Aquashield® Ultimate de Tecnan o, Silo® 111 de CTS. Por otro lado, para evitar las acciones del agua por escorrentía en las zonas superiores, se plantea la colocación de sombreretes de plomo en lámina de 1 mm sobre las cornisas, con eliminación de oquedades y creación correcta de pendientes, para no provocar en horizontal la acumulación de polvo y otros elementos que favorezcan a su vez la aparición de plantas superiores.

Conservación preventiva

En este caso de estudio de la "Puerta de Benetússer", se recomendaría una revisión anual en profundidad del estado de todos los elementos, con examen organoléptico y estudios analíticos no invasivos como el de la pipeta karsten y mediciones de conductividad para el control de sales. Se proporcionarían las directrices de cómo efectuar las limpiezas y con qué tipo de productos, así como de aplicaciones periódicas con biocidas. Por último, un mantenimiento y limpieza de la zona perimetral, con medidas disuasorias para evitar orines de perros. Uno de los problemas más importantes del monumento es el ascenso capilar de la humedad aportada por el agua de la acequia. La opción más eficaz pasaría por destapar las zonas adyacentes dejando una gran parte del paso de la acequia abierta, permitiendo así un mayor movimiento de la humedad. Esto se podría realizar añadiendo un elemento de seguridad que impidiese accidentes, como la colocación de una rejilla electrosoldada (*tramex*).

Potenciar la activación local

Para que un bien patrimonial se afiance como tal debe existir un nivel de consenso social, y la comunidad que está en contacto directo con el bien debe reconocerlo como propio. Se busca preservar el entorno cultural que marca la identidad de la sociedad que lo posee, sus valores, y asegurar su transmisión a las generaciones futuras (PRATS, 1997). Las acciones propuestas para la "Puerta de Benetússer" son dos: en primer lugar, realizar una acción urbanística que permita no solo el acceso, sino la creación de una zona donde poder contemplar el bien y disfrutarlo, al mismo tiempo que lo proteja de los posibles accidentes de circulación (Fig.4). En segundo lugar, realizar un mural horizontal, a modo de trampantojo, que simule el arco inferior de la puerta que ha quedado oculto y el paso del agua. Este efecto óptico devolverá uno de los recuerdos presentes entre los más mayores, la alegría infantil de saltar la acequia cuando todavía estaba sin cubrir, o simplemente ver pasar el agua. Esto permitirá que resurja la curiosidad por un monumento que está siendo relegado al olvido, y creará una zona interesante para visitar. Todo ello se complementará con paneles informativos que mostrarán detalles de la historia de la puerta con imágenes históricas y su evolución en el tiempo.

Conclusiones

Los estudios llevados a cabo evidencian la necesidad de intervenir la "Puerta de Benetússer". Se expone de manera pormenorizada las diferentes fases del tratamiento, siendo reseñables la eliminación de morteros de revestimiento y juntas, así como la eliminación de los agentes biológicos que, en conjunto, dañan estructural y estéticamente la obra. La acción más importante de mantenimiento pasaría por la apertura de la acequia a su paso por la puerta, lo que podría minimizar, en gran medida, el principal agente de alteración como es la acumulación de humedad. Se constata que, el desconocimiento sobre cómo actuar en un bien patrimonial y la actuación de personal no cualificado, puede afectar estéticamente al monumento y acelerar su proceso de degradación.

Existe una necesidad de transmitir a la población de Benetússer que tiene un patrimonio escaso en fase de abandono, sometido a acciones dañinas continuas y con una necesidad urgente de intervención y mantenimiento adecuados. De igual modo, se propone la reurbanización de la zona para facilitar el paso y su conservación. El monumento podría entrar en fase de desactivación, por lo que se presenta una propuesta que añade interés a su visita y potencia la activación social local.

Promoting local activation

For a heritage asset to become established as such, there must be a level of social consensus, and the community that is in direct contact with the heritage object must recognise it as its own. The aim is to preserve the cultural environment that marks the identity of the society that owns it, its values, and to guarantee its transmission to future generations (PRATS, 1997). The actions proposed for the "Puerta de Benetússer" are two: firstly, to carry out an urban planning action that allows not only access, but also the creation of an area where the visitor can contemplate and enjoy the monument, while at the same time protecting it from possible traffic accidents (Fig.4). Secondly, to create a horizontal mural, like a trompe l'oeil, which simulates the lower arch of the door that has been hidden and the passage of water. This optical effect will bring back one of the memories present among the older ones, the childish joy of jumping over the canal when it was still uncovered, or simply watching the water pass through. This will revive curiosity for a monument that is being relegated to oblivion and will create an interesting area to visit. All this will be complemented with information panels showing details of the history of the gate with historical images and its evolution over time.



Figura 4. Propuesta de urbanización.
Figura 4. Urbanization proposal.

Conclusions

The studies carried out show the need to intervene on the "Puerta de Benetússer". The different phases of the treatment are described in detail, being remarkable the elimination of coating mortars and joints, as well as the elimination of the biological agents that, as a whole, damage structurally and aesthetically the work. The most important maintenance action would be the opening of the irrigation channel as it passes through the doorway, which would minimise, to a large extent, the main agent of alteration such as the accumulation of humidity. The lack of knowledge about how to act on a heritage property and the actions of unqualified personnel can aesthetically affect the monument and accelerate the process of degradation.

There is a need to transmit to the population of Benetússer that it has a scarce heritage in a phase of abandonment, subjected to continuous damaging actions and with an urgent need for intervention and adequate maintenance. Likewise, it is proposed the redevelopment of the area to facilitate the passage and its conservation. The monument could enter a phase of deactivation, so a proposal is presented that adds interest to its visit and enhances local social activation.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

-AENOR. UNE-EN 16302:2016 *Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición de la absorción de agua por el método de la pipeta*.

-ALEJANDRE, F.J. (2002) *Historia, caracterización y restauración de morteros*. Sevilla: Universidad de Sevilla. ISBN 8447207730.

-ICOMOS-ISCS-COMITÉ INTERNACIONAL DE LA PIEDRA. (2011) *Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra*. Paris: ICOMOS. Recurso online disponible en: https://bit.ly/icomosm7gJ

-GARCÍA, J.L. (2018) *Els Rabassa de Perellós. Els senyors de Benetússer i el seu palau.* Catarroja: Editorial Afers. ISBN 9788416260546.

-GARCÍA, J.M. (2009) *Tratamiento y conservación de la piedra, el ladrillo y los morteros en monumentos y construcciones*. Madrid: Consejo General de la Arquitectura Técnica de España. ISBN 9788461276424.

-LABORDE, A., *et al*. (2013) *Proyecto Coremans: Criterios de intervención en materiales pétreos.* Madrid: Ministero de Educación, Cultura y Deporte, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Documentación y Publicaciones. ISBN 9788481815627. Recurso online disponible en: https://bit.ly/3d49zrK

-MAS, X. (2010) *Conservación y restauración de materiales pétreos: diagnóstico y tratamiento*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 9788483635834.

-PRATS, LL. (1997) *Antropología y patrimonio*. Barcelona: Editorial Ariel. ISBN:84344322115.

TÉCNICAS DIGITALES Y BIM APLICADO AL PATRIMONIO: ERMITA DE LOS SANTOS PATRONOS EN CARLET (Valencia)

DIGITAL TECHNIQUES AND BIM APPLIED TO HERITAGE: ERMITA DE LOS SANTOS PATRONOS IN CARLET (Valencia)

Jorge García Valldecabres
Investigador en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrito al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Titular de Universidad, Doctor Arquitecto. E-mail: jgvallde@ega.upv.es

Luis Cortés Meseguer
Investigador en el Centro de Investigación de Tecnología de la Edificación y adscrito al Dpto. de Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Contratado Doctor Arquitecto. E-mail: lvgarcia@csa.upv.es

Concepción López González
Investigadora en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrito al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Catedrática de Escuela Universitaria, Doctora Arquitecta. E-mail: mlopezg@ega.upv.es

Abstract

The study presented deals with the development of the analysis and previous study of a case study from the search for documentation and data collection to the realization of the typological and topographic values of the place and the monument. All this through the BIM methodology.

The work is divided into four phases: 1) Documentary search phase in which graphic and written information was compiled about the hermitage of San Bernat and the holy places of the Bernardine route. It is worth highlighting the image of the hermitage on a plan of the town of Carlet kept in the archives of the Kingdom of Valencia (1884-1920) where a singular representation of the hermitage appears in plan and the elevation down. 2) Data collection phase by means of a 3D laser scanner and traditional sketches, obtaining a point cloud that not only allows detecting the geometry and metrics of the surrounding surfaces but also the pathology and deformations of their structures. 3) Export of the point cloud to the ArchiCad Revit program for its modeling and parameterization with the corresponding creation of a specific library. 4) Finally, the project data is configured with the use of the BIM methodology so that all the intervening agents can act and have the information in real time.
The result of the study carried out has allowed to carry out the restoration of the dome of the hermitage with the replacement of glazed tiles and the consolidation of the upper stone finish.

Keywords
TLS; digital techniques; massive data collection; surveying

Antecedentes

Las intervenciones arquitectónicas de restauración del patrimonio y el marco actual han impulsado la búsqueda de un esquema metodológico de archivo documental donde la búsqueda de información es un punto de partida casi obligatorio. El inicio de la era digital, en el caso de patrimonio, presenta carencias metodológicas y es necesario realizar distintos estudios previos como los ensayos prueba-error a la hora de establecer un método adecuado y universal; en el caso de la investigación del patrimonio arquitectónico se trataría de ir actualizando la información encontrada y su re-planificación. No obstante, dada la variada información de que dispondrán cada uno de los monumentos, en el que muchos conservan sus archivos y otros no, hace que cada caso sea específico, pero sí se podría plantear una metodología común que debería adaptarse en función del monumento y del tipo de trabajo.

La intervención en el patrimonio arquitectónico no es solo la de restaurar, rehabilitar, realizar trabajos de mantenimiento, también hay otros aspectos como documentar las intervenciones, la puesta en valor del monumento o incluso los estudios históricos. Es por ello, que cada vez es más importante tener recogida toda la información en una base. Hasta la fecha, toda la documentación de los edificios se encuentra sesgada y hay que buscar tanto archivos personales como de la Administración y/o colegios profesionales. Eso hace que cada investigador que se enfrenta a una intervención, debe comenzar desde el punto de partida. Es por ello, que aprovechando que debía de realizarse una intervención arquitectónica de restauración de la cúpula de la ermita de San Bernat de Carlet (Valencia) se decidió empezar un estudio y recopilación de datos teniendo en cuenta las referencias BIM, aunque en el caso de la intervención arquitectónica, no hay que perder de vista que los sistemas constructivos como protagonistas.



Views of the hermitage of Sant Bernat de Carlet

Background

The architectural interventions for the restoration of heritage and the current framework have driven the search for a methodological scheme of documentary archive where the search for information is an almost mandatory starting point. The beginning of the digital age, in the case of heritage, presents methodological deficiencies and it is necessary to carry out different previous studies such as trial and error when establishing an adequate and universal method; In the case of the architectural heritage research, it would be about updating the information found and its re-planning. However, given the varied information that each of the monuments will have, in which many keep their archives and others do not, it makes each case specific, but a common methodology could be proposed that should be adapted depending on the monument and the type of work.

The intervention in the architectural heritage is not only to restore, rehabilitate, carry out maintenance work, there are also other aspects such as documenting the interventions, the enhancement of the monument or even historical studies. That is why it is increasingly important to have all the information collected on one basis. To date, all the documentation of the buildings is based and it is necessary to look for both personal files and those of the Administration and / or professional associations. This means that each researcher who faces an intervention must start from the starting point. That is why, taking advantage of the fact that an architectural restoration intervention of the dome of the hermitage of San Bernat de Carlet (Valencia) had to be carried out, it was decided to start a study and data collection taking into account the BIM references, although in the case of architectural intervention, we must not lose sight of the construction systems as protagonists.

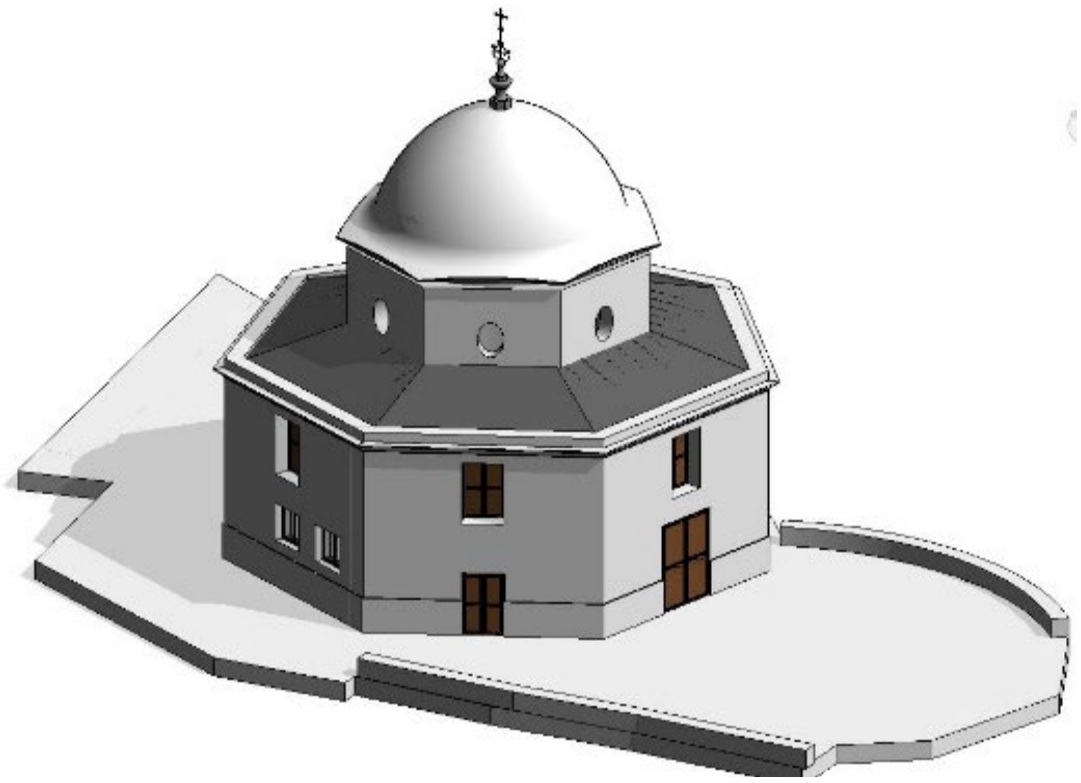


Imagen 2. Axonometría de la ermita. Autores Charco, J.L. y Heredia, G. (2019). Image 2. Hermitage axonometry. Authors Charco, J.L. and Heredia, G. (2019)

Conceptos relacionados con la investigación previa a una intervención

Cualquier intervención arquitectónica plantea una metodología específica y debe adecuarse a una finalidad concreta, ya que tenemos intervenciones de urgencia -también de emergencia-, a corto plazo, medio plazo, largo plazo o de mantenimiento.

En el caso de los Bienes de Interés Cultural, la legislación en vigor plantea la concepción de un Plan Director, que es el ADN del monumento y donde queda recogida toda la información, componiéndose de estudios históricos, arquitectónicos y otros estudios periciales; estos están compuestos por equipos multidisciplinares, en el que cada profesional elabora los documentos propios de su profesión y necesarios según la ley del patrimonio cultural valenciano exige. Todo ello, sin olvidar nunca que el edificio es la fuente primaria de información.

No ocurre lo mismo en los casos de los Bienes de Relevancia Local, catalogados según la legislación con un grado de protección menor. En este caso, la misma investigación previa sirve para documentar el proyecto arquitectónico y para dar cumplimiento a las distintas cuestiones que debe abordar todo proyecto. No obstante, en ambos casos existe una tradición oral, costumbres u otras acciones que dan vida al monumento; en el caso de Carlet, la tradición popular y el fervor a los santos que se venera relata ciertos aspectos propios de la vida misma de la ermita.



BIENES CON PROTECCIÓN DE YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS

FICHA	DENOMINACIÓN	LOCALIZACIÓN
Y.1	La Font Blanca	Camí de la Font Blanca y rambla de la Parra.
Y.2	El Pedregalet	Entre la ermita de San Bernat y la CV-50.
Y.3	Els Fornals	En la partida "Fornals" junto al término de l'Alcudia
Y.4	Alquería	Casco Antiguo, c/Raval y c/Ravalet
Y.5	Ermita de Sant Bernat	Camí Sant Bernat

BIENES CON PROTECCIÓN AMBIENTAL DE PARAJE

FICHA	DENOMINACIÓN	LOCALIZACIÓN
P.1	Campa de la Ermita	Junto a la Ermita de San Bernat.
P.2	Els Pinets	En los antiguos depósitos de agua potable.

Imagen 3. Detalle del Plano de localización del catálogo de los bienes protegidos de Carlet Plan General. Image 3. Detail of the map of location of the catalog of protected goods of Carlet`s General Plan.

Concepts related to research prior to an intervention

Any architectural intervention proposes a specific methodology and must be adapted to a specific purpose, since we have emergency interventions -also emergency-, short-term, medium-term, long-term or maintenance.

In the case of Bienes de Interés Cultural (goods of cultural interest), the legislation proposes the conception of a Master Plan, which is the DNA of the monument and where all the information is collected. It consisting of historical, architectural and other expert studies; these are made up of multidisciplinary teams, in which each professional prepares the documents proper to their profession and required by the Valencian cultural heritage law. All this, without ever forgetting that the building is the primary source of information.

The same does not happen in the cases of Bien de Relevancia Local (goods of local relevance), classified according to the legislation with a lower degree of protection. In this case, the same previous research serves to document the architectural project and to comply with the different issues that every project must address. However, in both cases there is an oral tradition, customs or other actions that give life to the monument; In the case of Carlet, the popular tradition and the fervor for the saints that are venerated, relate certain aspects of the life of the hermitage itself.

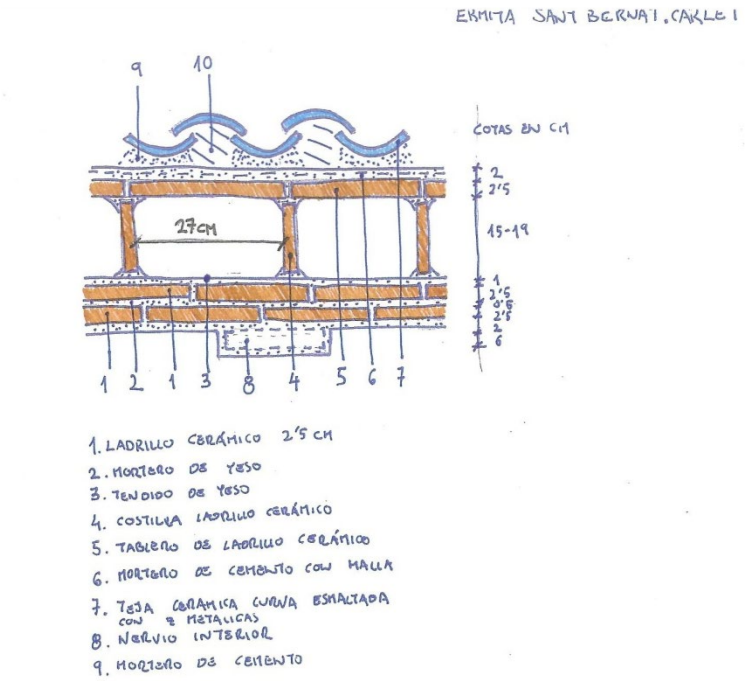


Imagen 4. Detalle constructivo de la cúpula. Autor, Cortes, L. (2018). Image 4. Construction detail of the dome. Author Cortes, L. 2018)

Fase 1: búsqueda documental

Es la primera de las fases, en la que se recopiló información gráfica y escrita sobre la ermita de San Bernat y los santos lugares de la ruta bernardina. Aunque en toda investigación la bibliografía hay que someterla a un filtrado crítico, siempre debe consultarse en primer lugar para buscar fuentes documentales. El filtrado crítico se debe a que la bibliografía es una fuente secundaria, es decir, que ya ha sufrido un proceso de elaboración y la veracidad y criterio dependerá del autor. Es de destacar la imagen de la ermita de un plano de la villa de Carlet custodiado en el archivo del Reino de Valencia (1884-1920) donde aparece una singular representación de la ermita en planta y abatido el alzado.

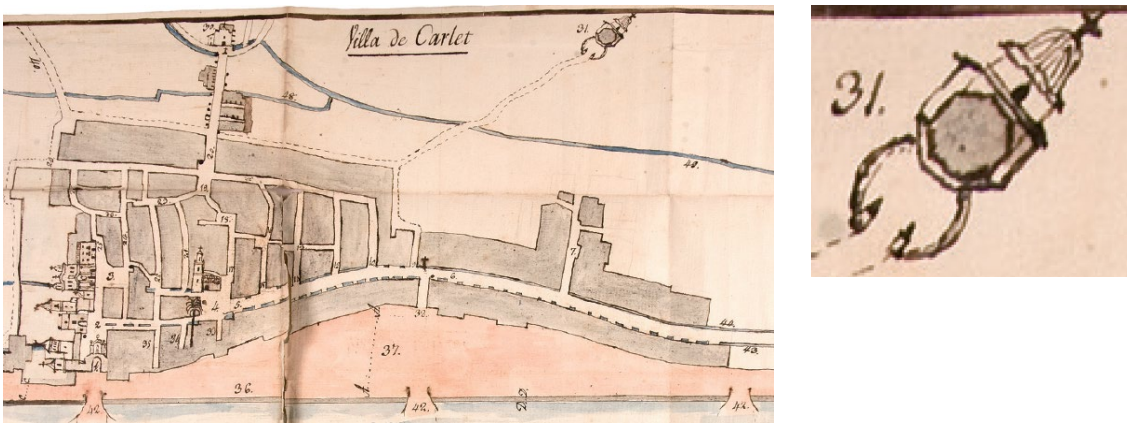


Imagen 5. Cartografía histórica de Carlet y la ermita (número 31). Image 2. Historical cartography of Carlet and the hermitage (number 31).

Fase 2: toma de datos mediante escáner láser 3D y croquis tradicionales

Se ha obtenido una nube de puntos que no sólo permite detectar la geometría y métrica de las superficies envolventes sino también la patología y deformaciones de sus estructuras. La toma de datos masiva se realizó con escáner láser Faro modelo Focus-130-3D y el procesamiento de nubes de puntos con programa Scene-19 de Faro. Al mismo tiempo, se han elaborado de forma simultánea, croquis tradicionales.

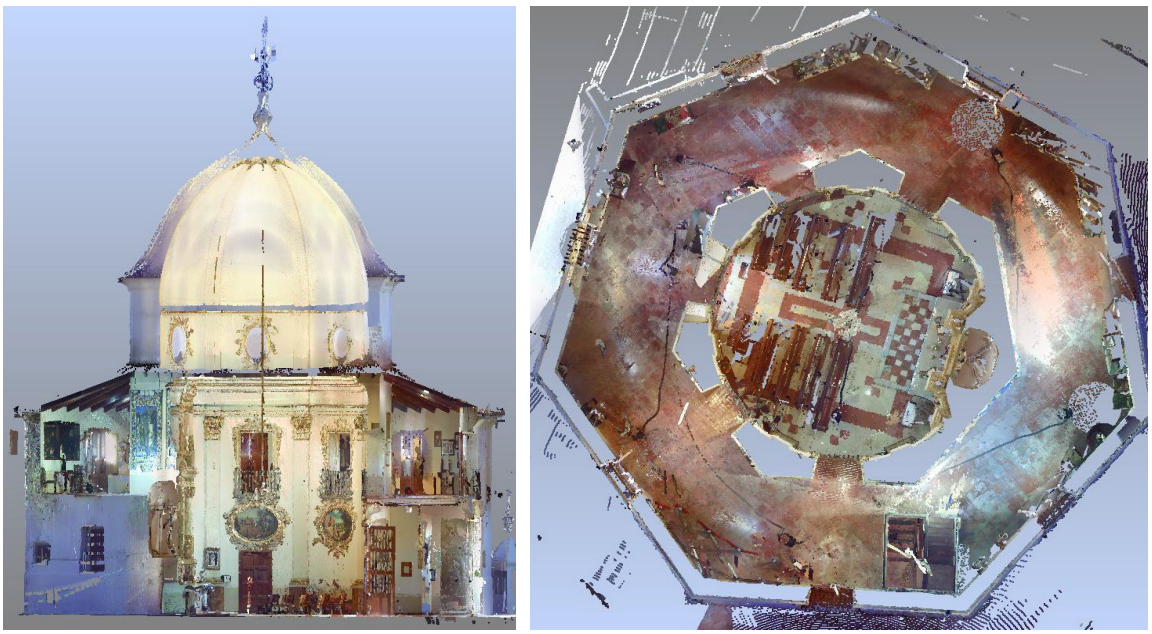


Imagen 6. Sección y planta obtenidas por la nube de puntos. Autor, García, J. (2018) Image 6. Section and plan obtained by the point cloud. Author García, J. 2018)

Phase 1: documentary search

It is the first of the phases, in which graphic and written information was compiled about the hermitage of San Bernat and the holy places of the Bernardine route. Although in all research the bibliography must be subjected to a critical filtering, it should always be consulted first to find documentary sources. Critical filtering is due to the fact that the bibliography is a secondary source, that is, it has already undergone an elaboration process and the veracity and criteria will depend on the author. It is worth highlighting the image of the hermitage in a plan of the town of Carlet kept in the archives of the Kingdom of Valencia (1884-1920), where a singular representation of the hermitage appears in plan and the elevation down.

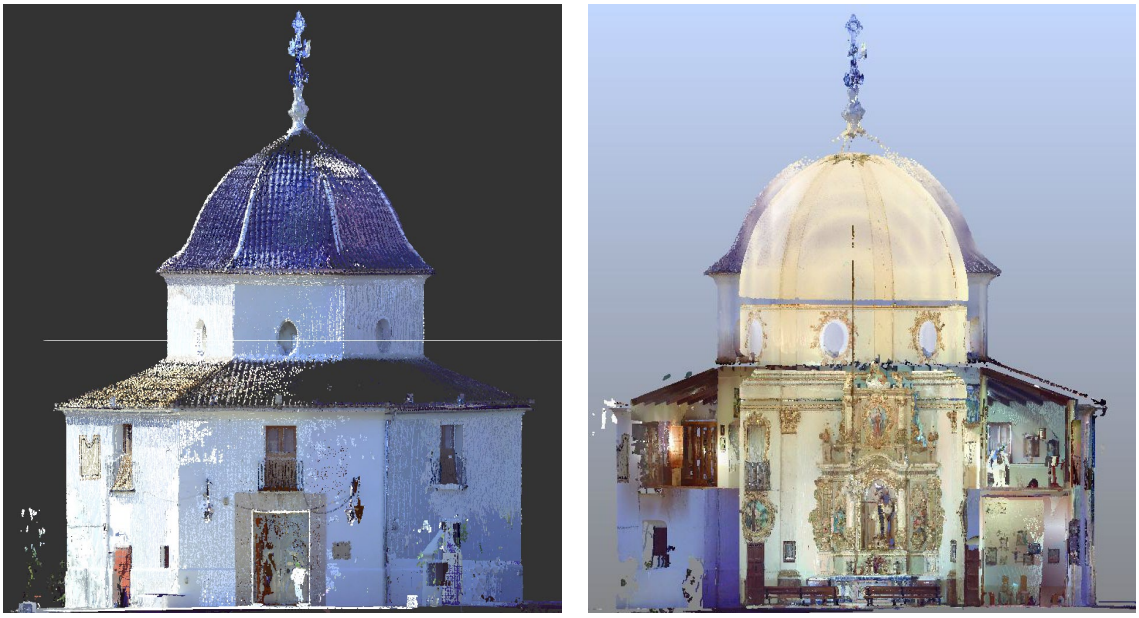


Imagen 7. Alzado y sección de la nube de puntos obtenido con el escáner Faro. Autor, García, J. (2018). Image 7. Elevation and section of the point cloud obtained with Faro's scan. Author García, J. 2018)

Phase 2: data collection using a 3D laser scanner and traditional sketches.

A point cloud has been obtained that not only makes it possible to detect the geometry and metrics of the enveloping surfaces, but also the pathology and deformations of their structures. The massive data collection was carried out with a Faro model Focus-130-3D laser scanner and point cloud processing with Faro's Scene-19 program. At the same time, traditional sketches have been drawn up simultaneously.

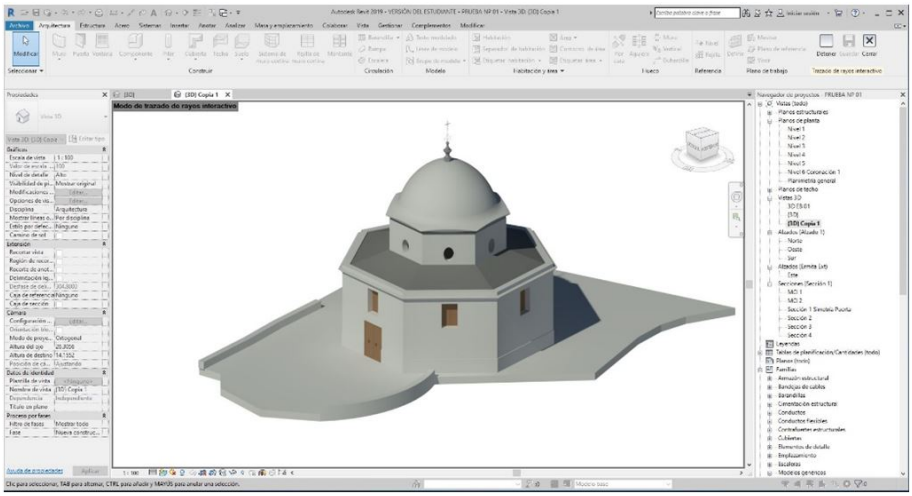


Imagen 8. Implementación en el programa Revit. Autores Charco, J.L. y Heredia, G. (2019). Image 8. Implementation in the Revit program. Authors Charco, J.L. and Heredia, G. (2019)

Fase 3: Implementación de la nube de puntos en Revit.

Tras la nube de puntos es necesario realizar la exportación de la nube de puntos mediante conversión en archivos E-57 e implementación en el programa REVIT. Con este programa, se realiza la parametrización de los datos obtenidos, se crea una biblioteca específica y se realiza el modelado digital para poder trabajar en tres dimensiones o realizar las secciones oportunas para según necesidades de representación.

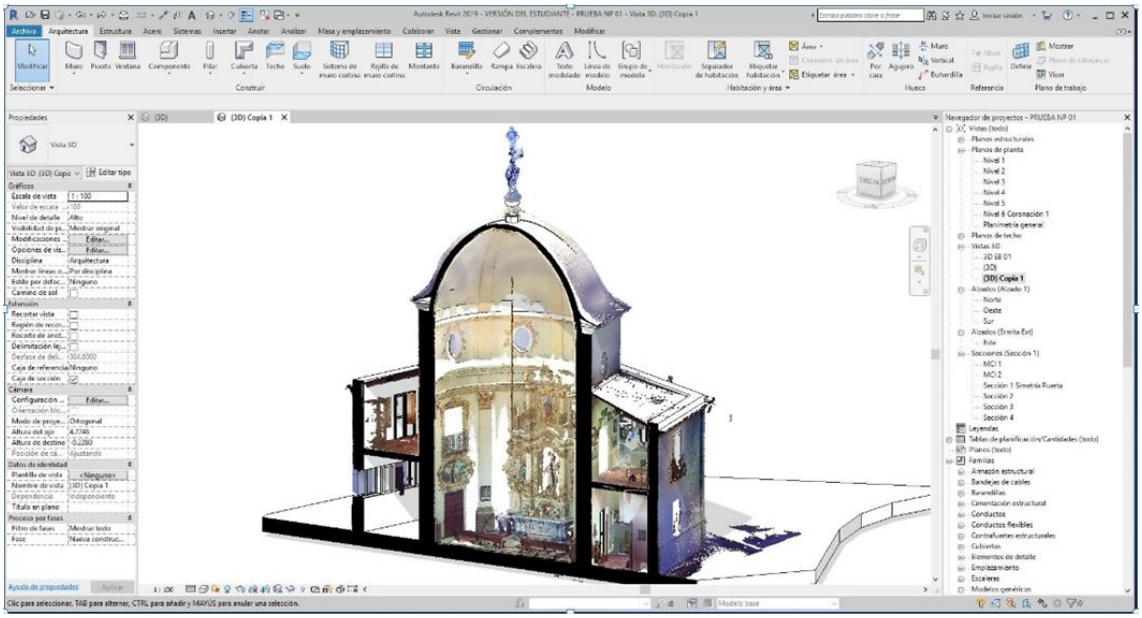


Imagen 9. Sección obtenida en el programa Revit. Autores Charco, J.L. y Heredia, G. (2019). Image 9. Section obtained in Revit. Authors,Charco, J.L. and Heredia, G. (2019)

Fase 4: elaboración del proyecto

El proyecto técnico reúne gran parte de la documentación obtenida y trabajada. No obstante, toda la información y documentación debe adaptarse y sufrir un proceso de elaboración para adecuarlo a la finalidad del proyecto. Además, se configuran los datos de proyecto con el uso de la metodología BIM de forma que todos los agentes intervinientes puedan actuar y disponer de la información en tiempo real.

El modelado mediante la metodología BIM se basa en el diseño de modelos paramétricos que facilitará la información necesaria para la gestión de las distintas actuaciones: el proyecto, la rehabilitación, la conservación preventiva y el mantenimiento (Biagini, C., et al., 2016).

Hay que tener muy presente que la finalidad de todo este proceso es el proyecto y la intervención arquitectónica, siendo todo el proceso BIM previo un método y no la finalidad. No obstante, todos los archivos obtenidos servirán para una futura intervención, pudiendo abordar distintos trabajos paralelos para el mayor conocimiento del monumento. No obstante, se está creando información y documentación que puede formar parte de un posible Plan Director.

Nunca hay que dejar de entender que el edificio es la fuente primaria de información y que el elemento construido es lo realmente protegido, por lo que el proyecto debe partir de esa premisa y adecuar su plan de trabajo.

Phase 3: Implementation of the point cloud in Revit

After the point cloud, it is necessary to export the point cloud by conversion into E-57 files and implementation in the REVIT program. With this program, the data obtained is parameterized, a specific library is created, and digital modeling is carried out to be able to work in three dimensions or make the appropriate sections according to representation needs.

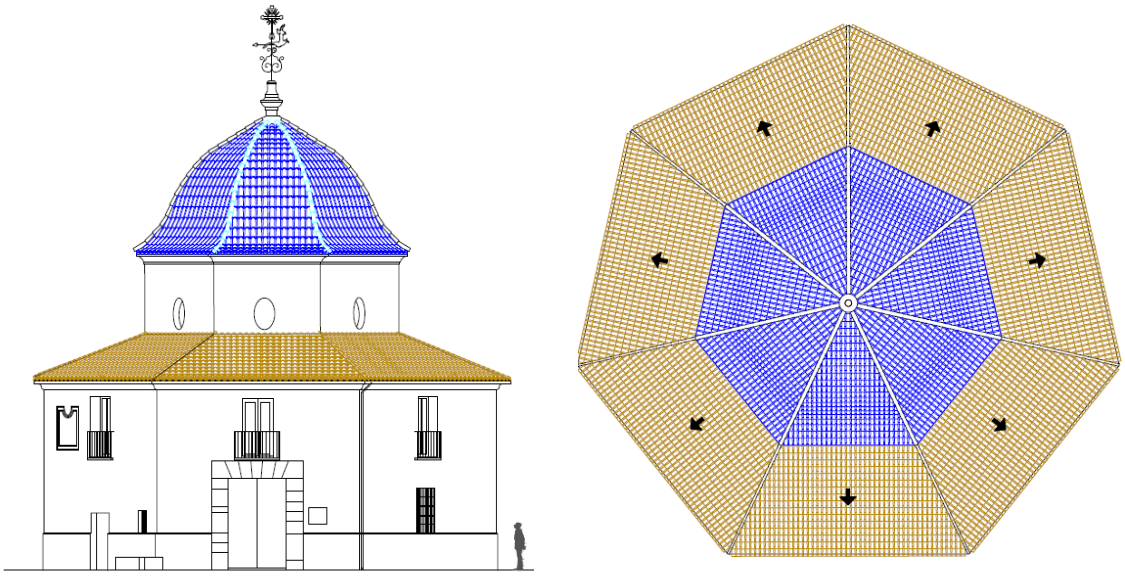


Imagen 10. Alzados y cubierta del proyecto. Autor, Cortes, L. (2018). Image 10. Elevation and roof view from project. Author Cortes, L. 2018)

Phase 4: project development

It must be considered that the purpose of this entire process is the project and the architectural intervention, the entire BIM process being a method and not the purpose. However, all the files obtained will be used for a future intervention, being able to develop different parallel works to better understand the monument. However, information and documentation is being created that can be part of a possible Master Plan.

Modeling using the BIM methodology is based on the design of parametric models that will provide the information necessary for the management of the different actions: the project, rehabilitation, preventive conservation and maintenance (Biagini, C., et al., 2016).

It should be considered that the purpose of this entire process is the project and the architectural intervention, the entire BIM process being a method and not the purpose. However, all the files obtained will be used for a future intervention, being able to tackle different parallel works to better understand the monument. However, information and documentation is being created that can be part of a possible Master Plan.

We must never stop understanding that the building is the primary source of information and that the built element is what is really protected, so the project must start from that premise and adapt its work plan.

With the graphical documentation obtained, you can obtain the basis for making work plans or obtaining finished plans. In addition, it is used to check collapses, layout defects, dimension fissures and cracks.

Results

The BIM method is a work methodology that facilitate the entire documentation process and archiving it for future interventions. In monuments of Cultural Interest, the law requires a Master Plan to be carried out, which represents the monument's DNA with different multidisciplinary studies. In the same way as with the proposed methodology for smaller buildings.

Each heritage intervention can have different architectural or construction solutions, but the proposed methodology is valid for all types of prior documentation. We must never forget that with the BIM methodology we work with virtual models, the building being the primary element and preserving unique and original documentation.

Conclusiones

El método BIM es una metodología de trabajo que tiene la bondad de puede facilitar todo el proceso de documentación y de archivarlo para futuras intervenciones. En los monumentos Bien de Interés Cultural la ley obliga a realizar un Plan Director, que supone el ADN del monumento con distintos estudios multidisciplinares, de la misma forma que con la metodología propuesta para edificios de menor entidad.

Cada intervención patrimonial puede tener distintas soluciones arquitectónicas o constructivas, pero la metodología propuesta es válida para todo tipo de documentación previa. Nunca hay que olvidar que con la metodología BIM se trabaja con modelos virtuales, siendo el edificio construido el elemento primario y que conserva documentación única y original.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Alba, E. «Carlet: Historia, Geografía, Arte y Patrimonio». Valencia: Facultat de Geografia i Història Universitat de València, 2015.
- Bérchez Gómez, Joaquín. «Arquitectura y Academicismo». Valencia: Edicions Alfons el Magnànim, 1987.
- Bérchez Gómez, Joaquín y Corell, Vicente. «Catálogo de diseños de Arquitectura de la Real Academia de BB. AA. de San Carlos de Valencia 1768-1846». Colegio de Arquitectos de Valencia y Murcia. Valencia: Xarait Ediciones, 1981.
- Biagini, C., Capone C., Vincenzo, D., Nora, F., «Towards the BIM implementation for historical building restoration sites Automation in Construction Volume 71, Part 1, Noviembre de 2016, pág. 74-86.
- Cartografía histórica. Archivo Reino de Valencia 1884-1920. Carlet: Historia, Geografía, Arte y Patrimonio, 2015, Vicent M. Garés Timor, p. 371.
- Charco, León, J.L., «Implementación HBIM de elementos singulares del Patrimonio Arquitectónico. El caso de la Virgen del Milagro del Conjunto de San Juan del Hospital» Trabajo Final de Máster en en Gestión de la Construcción BIM (UPV/UDC) (Curso 2015-16).
- Heredia Ortega, G., «Propuesta de BEP para proyectos patrimoniales HBIM» Trabajo Final de Máster en en Gestión de la Construcción BIM (UPV/UDC) (Curso 2015-16).
- Lluch Garín, L. «Ermitas y Paisajes de Valencia». Caja de Ahorros de Valencia, 1980.
- Salvador, E., García Valldecabres, J. y Viñals Blasco, M.J. «Integrating HBIM models in the management of the public use of heritage buildings» in Canadian Journal of Civil Engineering. 2019.
- Soler Sanz, Felipe. «Trazados reguladores en la Arquitectura». Valencia: Felipe Soler Monreal, 2014.
- Soler-Verdú, R., Soler-Estrela, A. y Cortés Meseguer, L. «Tipología de cúpulas. Estudio de los proyectos académicos de la Real Academia de BB. AA. de San Carlos de Valencia. España. 1768-1846». En *Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Instituto Juan de Herrera, 2018.

CHAPTER 4

TECHNOLOGY

CAPÍTULO 4 ***TECNOLOGÍA***

COMPORTAMIENTO SÍSMICO EN EL PLANO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARRIOSTRADAS MEDIANTE MUROS PANTALLA BASADOS EN SIPS DE CONTRACHAPADO

IN-PLANE SEISMIC PERFORMANCE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BRACED WITH PLYWOOD-SHEATED SIP SHEARWALLS

Agustín Pérez García
Dpto. Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras; Universitat Politècnica de València; ETSA. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
Profesor Titular de Universidad, Doctor por la UPV. E-mail: aperezg@mes.upv.es

Pau Vicent Piquero Cilla
Ingeniero de montes.
E-mail: paupicil@etsia.upv.es

Abstract

The response of a five-storey reinforced concrete SIP (Structural Insulated Panels) infilled frame under a pushover analysis has been studied. This analysis was carried out considering the inelastic behaviour as plastic hinges appear between frame elements. In this manuscript a series of tests have been carried out, with different configurations, in order to determine the capacity of these walls according to variables such as: location of the shearwalls, opening presence and plywood sheet thickness. Results show that perforated walls show a smaller number of plastic hinges than in their solid counterparts. Opening presence leads a stiffness decrease in the bay and therefore in the whole structure. Central panels in each bay shows a rocking behaviour as they try to rotate about an axis out of plane. Panels manifest a tensile performance in the upper right corner and in the lower left corner; and compression in the upper left corner and in the lower right corner.

Keywords
Reinforced concrete frame, hybrid structures, shearwall, SIP, infilled frame, non-linear analysis, seismic assessment.

Introduction

In order to avoid the loss of human lives, as well as to minimize economic losses, the seismic design tries to provide buildings with the ability to:

- Resist low intensity earthquakes without damage.
- Resist medium intensity earthquakes, suffering damage that can be repaired.
- Resist high intensity earthquakes, avoiding the collapse of the building.

That is the reason that makes necessary to incorporate methods that allow the evaluation of the seismic performance of a building, as well as the incorporation of bracing elements that provide it with an adequate stiffness.

It is known that the addition of vertical diaphragms in multi-storey frame structures induces a better load transmission from upper to lower storeys, and finally to the terrain. This produces an increase in stiffness values against lateral loads which leads to a less inter-storey drift.

These elements can be non-structural, which means that they are not part of the building support system. They are architectural elements that act as exterior enclosures or internal partitions. Therefore, in this study the use of SIPs is proposed, in order to compartmentalise or even cover the structure and thus increase its stiffness [1]. Another reason to test this type of system is the improvement, in terms of energy efficiency, for the building [2] and its ease of construction.

On the other hand, the inclusion of this type of elements can be negative if they are distributed in the wrong way, creating inertias that favour the resonance caused by the earthquake. For example, placing bracings only on the upper floors, not only is it not possible to adequately transmit the efforts to lower floors, but a rigid block is created at the top of the building. This can cause the collapse of the structure [3], being one of the most common reasons when a floor mechanism appears on the lower floors.

The evaluation of the behaviour of the concrete frame structures in case of earthquakes has been sufficiently studied to have seismic resistant designs available for many different configurations. But in relation to this type of structures filled with SIP, there are still no studies that reflect their behaviour.

Due to the characteristics of the wood and its way of union, these shearwalls behave in a very ductile way, this allows to release much energy from the accumulated in the seismic process.

The objective of this study is to assess the performance RC (Reinforced Concrete) frames infilled with SIP shearwalls (Figure 1).

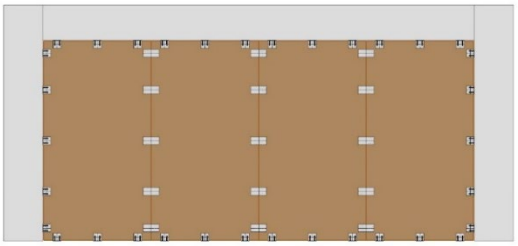


Figure 1 RC frame infilled with SIP shearwall.
Figura 1: Pórtico de hormigón armado relleno con un muro pantalla de SIP.

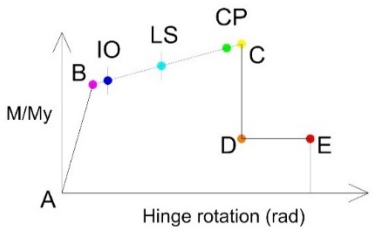


Figure 2 Plastic hinge properties.
Figura 2: Propiedades de las rótulas plásticas.

For this, it is necessary to take into consideration that the elements that set up the structure, as well as the infill-frame interaction, give place to a highly non-linear inelastic behaviour [4]. This phenomenon results in the appearance of plastic hinges between the elements of the structure, being those that are created at the ends of the columns those most damaging to the maintenance of structural stability. Plastic hinges are formed at the ends of beams and supports due to bending efforts. The moment to which the plastic hinge is subjected, and the rotation suffered determine its state (Figure 2):

IO: Immediate Occupancy.

LS: Life Safety.

CP: Collapse Prevention.

Therefore, it is necessary to study the way in which plastic hinges are formed in a structure and its state, when subjected to successive loading cycles, and which could be its desired formation (Figure 3) [5].

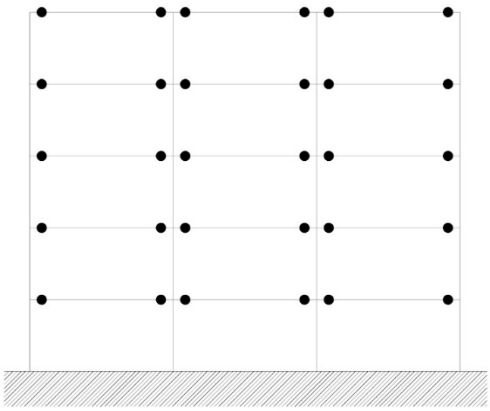


Figure 3 Desirable plastic hinge formation in seismic design of a frame. Adapted from Kaveh, 2014 [5].

Figura 3: Formación de rótulas plásticas deseable en el contexto de diseño sísmico. Adaptado desde Kaveh, 2014 [5]

Structures that are subjected to earthquakes are especially vulnerable to the appearance of these plastic hinges. That is why a linear analysis is not enough in order to study their behaviour with respect to different levels of security.

Introducción

Para evitar la pérdida de vidas humanas, así como para minimizar las pérdidas económicas, el diseño sísmico intenta dotar a los edificios de la capacidad de:

- Resistir terremotos de mediana intensidad, sufriendo daños que pueden repararse.
- Resistir terremotos de alta intensidad, evitando el derrumbe del edificio.

Es por ello que se hace necesaria la incorporación de métodos que permitan la evaluación del comportamiento sísmico de una edificación, así como la incorporación de elementos de arriostramiento que le proporcionen una rigidez adecuada.

Se sabe que la adición de diafragmas verticales en estructuras aporticadas de varios pisos conlleva una mejor transmisión de carga de los pisos superiores a los inferiores y, finalmente, al terreno. Esto produce un aumento de los valores de rigidez frente a cargas laterales lo que conduce a un menor desplome entre plantas.

Estos elementos pueden ser no estructurales, lo que significa que no forman parte del sistema de soporte del edificio. Son elementos arquitectónicos que actúan como cerramientos exteriores o tabiques internos. Por tanto, en este estudio se propone el uso de SIP, con el fin de compartimentar o incluso envolver la estructura y así aumentar su rigidez [1]. Otro motivo para emplear este tipo de sistemas es la mejora, en términos de eficiencia energética, del edificio [2] y su facilidad de construcción.

Por otro lado, la inclusión de este tipo de elementos puede resultar negativa si se distribuyen de forma incorrecta, creando inercias que favorecen la resonancia provocada por el sismo. Por ejemplo, colocando arriostramientos solo en los pisos superiores, no solo no es posible transmitir adecuadamente los esfuerzos a los pisos inferiores, sino que se crea un bloque rígido en la parte superior del edificio. Esto puede provocar el colapso de la estructura [3], siendo una de las razones más comunes cuando aparece un mecanismo de piso en los pisos inferiores.

La evaluación del comportamiento de las estructuras de hormigón en caso de terremotos ha sido suficientemente estudiada para tener disponibles diseños sísmicos resistentes para muchas configuraciones diferentes. Pero en relación con este tipo de estructuras empleando SIP como material de arriostramiento, aún no existen estudios que reflejen su comportamiento.

Por las características de la madera y su forma de unión, estos muros pantalla se comportan de manera muy dúctil, esto permite liberar mucha energía de la acumulada en el proceso sísmico.

El objetivo de este estudio es evaluar el desempeño de los pórticos hormigón armado rellenos con muros pantalla SIP (figura 1).

Experimental Plan

Materials and methods

Pushover methodology

The pushover is a static non-linear analysis characterized by subjecting a structure to a series of incremental monotonic loads, to emulate the inertia generated by seismic phenomena. In this case, the Non-Linear Gravitational Load (NLGL) and subsequently the Non-Linear Static Analysis (NLSA) is applied in which lateral loads are applied, on the left of the structure. Due to this request, the joints between structural elements that were previously rigid become plastic hinges. As a result, the structure loses stiffness as the analysis develops.

This analysis has been developed using SAP2000 software.

Analysis procedure

Load application

Vertical loads that make up the NLGL case were calculated in accordance with Spanish regulations CTE-DB-SE-AE (Código Técnico de la Edificación-Documento Básico-Seguridad Estructural-Acciones en la Edificación). In addition, the following factors were used to modify them:

$$NLGL = 1{,}1 \cdot Dead + 0{,}275 \cdot Live + 0{,}275 \cdot Snow$$

The lateral load is the one used to carry out the basis of the analysis, using the NLSA case; without applying any corrective factor.

$$NLSA = 1 \cdot F_{lateral}$$

Load application is described in the Figure 4.

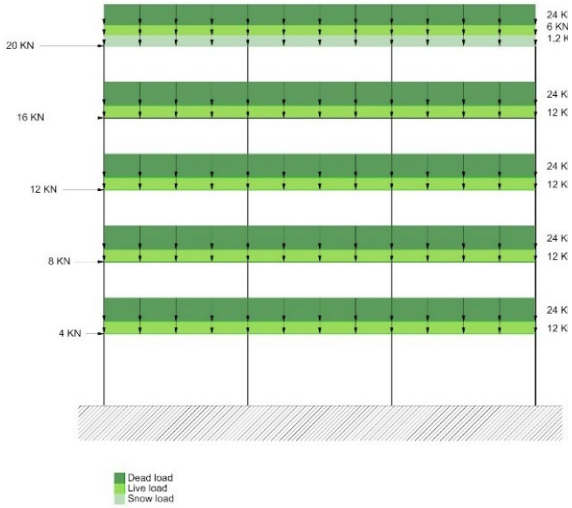


Figure 4: Load application diagram.

Figura 4: Diagrama de aplicación de cargas.

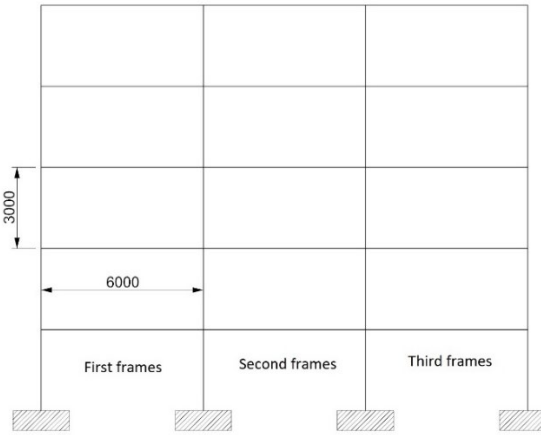


Figure 5 2D R/C frame structure. Data in mm.

Figura 5: Estructura aporticada en dos dimensiones. Datos en mm.

Characterization of plastic hinge

Column elements: For the design of plastic hinges, ASCE (American Society of Civil Engineers) tables 41-43, table 10-8 (concrete columns) was consulted.

Beam elements: For the design of plastic hinges, ASCE tables 41-13, table 10-7 (concrete beams - flexure) was consulted.

Structure displacement monitoring

This control is developed by selecting a control node. For this test the selected node is the one in the upper right corner. The displacement reached in this node will be used to elaborate the displacement/base-shear graphs. Only lateral displacement will be considered, on the x axis (drift) and will be monitored until control reach 0,5 metres.

Configuration space

A set of configurations was tested in order to study the behaviour of different walls with the same loads. The modifications are the thickness of the plywood layers, the location of the shearwalls in the structure and finally the presence of openings.

Plywood layer thickness

These panels consist of two plywood layers of equal thickness that enclose a layer of extruded polystyrene foam (XPS). In relation to the calculation, the contribution of this intermediate layer will not be considered and, because the analysis is in 2D, both layers of plywood will be treated with a thick result of the sum of both. The code used to refer to the specimens of the analysis, depending on the thickness, is 18 (18mm), 36 (36mm) or 80 (80 mm).

These thickness values correspond to those panels offered commercially, for both plywood layers.

Infill location

For this analysis it has been decided three possibilities. In the first (F), the wall is in the bays closest to the applied lateral load, the second (S) in the central ones and finally the third (T) in the furthest bays.

Opening presence

The last variable added is the presence of openings or the solid wall (f).

The opening which represents a door (d) and its characteristics are as follows:

2.1 meters high.

1.2 meters wide.

Centred on the wall.

Wall opening ratio is 14%.

The opening which represents a window (w) and its characteristics are as follows:

1,2 meters high.

2,5 meters wide.

1,2 meters offset from the base of the shearwall.

Centred on the wall.

The combination of these variables results in a total of 27 sets of experiments plus the control specimen.

Model development procedure

The experiment focused in a 2D frame structure. The model is was developed according to 2 levels.

First level: R/C frame structure

The structure consists of a 3 bay and 5 storeys structure (Figure 5).

Frame elements

Reinforced concrete beams: 450mm x 250mm

Reinforced concrete columns: 500mm x 500mm

Second level: SIP shearwall

The filling element of the frames will be SIP panels. However, due to the dimensions with which they are commercialized, it requires 4 to build a wall that fills the whole space of the frame

(Figure 8), acquiring the set the geometry as shown in Figure 1. This fact leads to a decrease in shearwall capacity and stiffness [6] and its necessary to be taken into account.

This phenomenon causes two joined panels not to be proportionally deformed as if they were one.

In order to reflect this phenomenon, the following finite element shearwall model is proposed (Figure 6)

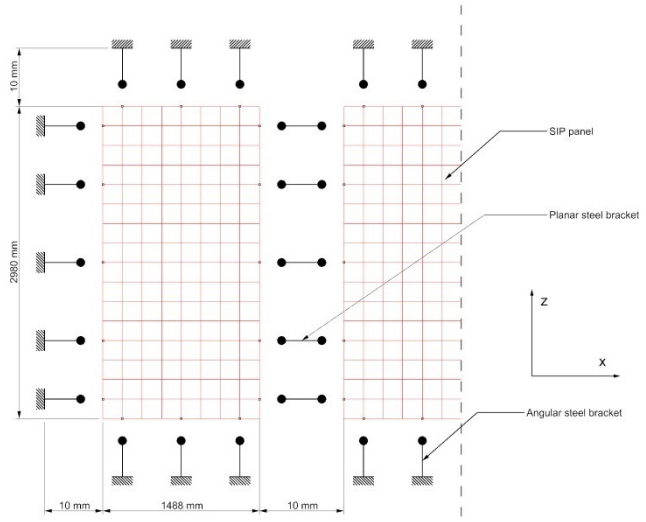


Figure 6 SIP shearwall model. Data in mm.

Figura 6: Modelo de un muro pantalla a base de SIPs. Datos en mm.

The joining method used to link the wall to both, upper and lower frame is a steel L-bracket, 3mm thick (Figure 7).

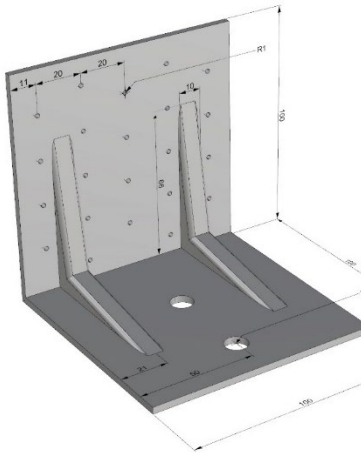


Figure 7 Angle bracket. Data in mm.

Figura 7: Anclaje angular. Datos en mm.

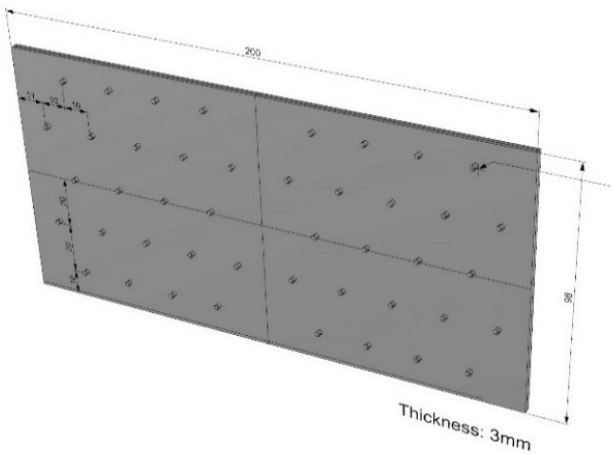


Figure 8 Planar bracket. Data in millimetres.

The linking method in order to join two adjacent panels is a planar bracket (Figure 8).

Method and software

The method followed to perform the experiments is the NLSA pushover analysis.

Once the loads have been applied, the performance point will be determined using SAP2000 structural design software.

Response spectrum plot

The ground response spectrum is the response plot (Figure 9) given at the free surface of the earth. In this study it was used the NCSE-02 (Normativa de Construcción Sismorresistente de España1) standard. This regulation establishes a normalized elastic surface response spectrum, defined by the following values:

Si $T < T_A$ $\alpha(T) = 1 + 1{,}5 \cdot T/T_A$

Si $T_A \leq T \leq T_B$ $\alpha(T) = 2{,}5$

Si $T > T_B$ $\alpha(T) = K \cdot C/T$

With,

$\alpha(T)$ Normalized elastic response spectrum value;

T Oscillator period, in seconds;

K Contribution coefficient;

C Terrain coefficient.

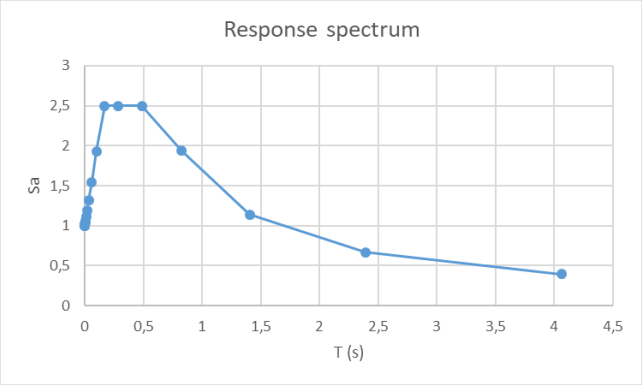


Figure 9 Response spectrum

In addition of both, live and dead loads, a series of lateral loads, of triangular arrangement, were applied.

Plan experimental

Materiales y métodos

Metodología Pushover

[1] Spanish seismic design regulation.

El pushover es un análisis estático no lineal que se caracteriza por someter una estructura a una serie de cargas monotónicas incrementales, con el fin de emular la inercia generada por los fenómenos sísmicos. En este caso se aplica la Carga Gravitacional No Lineal (NLGL) y posteriormente el Análisis Estático No Lineal (NLSA) en el que se aplican cargas laterales. Debido a esta solicitud, las uniones entre elementos estructurales, que antes eran rígidas, se convierten en rótulas plásticas. Como resultado, la estructura pierde rigidez a medida que se desarrolla el análisis.

Este análisis se ha desarrollado utilizando el software SAP2000.

Procedimiento de análisis

Aplicación de carga

Las cargas verticales que componen el caso NLGL se calcularon de acuerdo con la normativa española CTE-DB-SE-AE (Código Técnico de la Edificación - Documento Básico - Seguridad Estructural - Acciones en la Edificación). Además, se utilizaron los siguientes factores para modificarlos:

$$NLGL = 1{,}1 \cdot Dead + 0{,}275 \cdot Live + 0{,}275 \cdot Snow$$

La carga lateral es la que se utiliza para realizar la base del análisis, utilizando el caso NLSA; sin aplicar ningún factor correctivo.

$$NLSA = 1 \cdot F_{lateral}$$

El conjunto de cargas aplicadas queda descrito en la Figure 4.

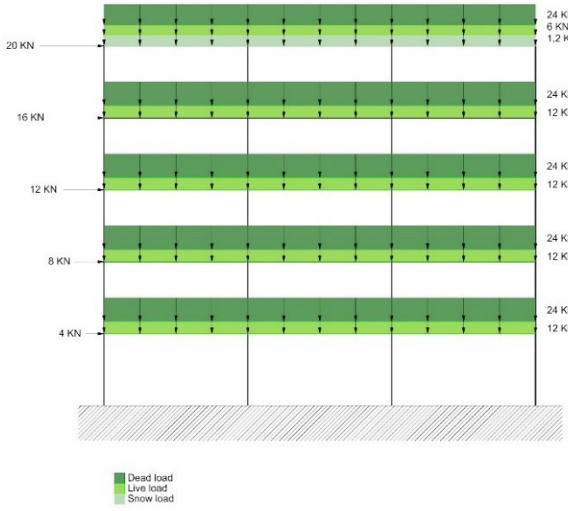


Figure 10: Load application diagram.

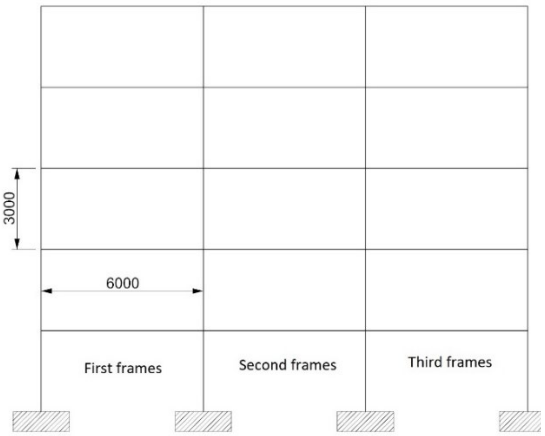


Figure 11 2D R/C frame structure. Data in mm

Caracterización de bisagra de plástico

Elementos de columna: Para el diseño de las rótulas plásticas se consultaron las tablas 41-43 de la ASCE (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles), tabla 10-8 (columnas de hormigón).

Elementos de viga: Para el diseño de las rótulas plásticas se consultaron las tablas 41-13 de ASCE, tabla 10-7 (vigas de hormigón - flexión).

Monitoreo de desplazamiento de estructuras

Este experimento se desarrolla seleccionando un nodo de control. Para esta prueba, el nodo seleccionado es el de la esquina superior derecha. El desplazamiento alcanzado en este nodo se

utilizará para elaborar los gráficos de desplazamiento / cortante basal. Solo se considerará el desplazamiento lateral, en el eje x (desplome) y será monitoreado hasta que el control alcance 0,5 metros.

Espacio de configuración

Se probó un conjunto de configuraciones para estudiar el comportamiento de diferentes muros con las mismas cargas. Las modificaciones son el espesor de las capas de madera contrachapada, la ubicación de los muros de corte en la estructura y finalmente la presencia de aberturas.

Espesor de la capa de madera contrachapada

Estos paneles constan de dos capas de madera contrachapada de igual espesor que encierran una capa de espuma de poliestireno extruido (XPS). En relación con el cálculo, no se considerará el aporte de esta capa intermedia y, debido a que el análisis es en 2D, se tratarán ambas capas de madera contrachapada con un resultado grueso de la suma de ambas. El código utilizado para hacer referencia a las probetas de análisis, según el espesor, es 18 (18 mm), 36 (36 mm) u 80 (80 mm).

Estos valores de espesor corresponden a los paneles que se ofrecen comercialmente, para ambas capas de madera contrachapada.

Ubicación del relleno

Para este análisis se han decidido tres posibilidades. En el primero (F), el muro se encuentra en los tramos más cercanos a la carga lateral aplicada, el segundo (S) en los centrales y finalmente el tercero (T) en los tramos más alejados.

Presencia de huecos

La última variable agregada es la presencia de huecos o la pared sólida (f).

El hueco que representa una puerta (d) y sus características son las siguientes:

2,1 metros de altura.

1,2 metros de ancho.

Centrado en la pared.

La relación de apertura de la pared es del 14%.

El hueco que representa una ventana (w) y sus características son las siguientes:

1,2 metros de altura.

2,5 metros de ancho.

1,2 metros de distancia desde la base del muro de corte.

Centrado en el muro.

La combinación de estas variables da como resultado un total de 27 conjuntos de experimentos, más la muestra de control.

Desarrollo del modelo

El experimento se centró en una estructura en 2D y se desarrolló según 2 niveles.

Primer nivel: estructura aporticada de hormigón armado

La estructura consta de una estructura de 3 vanos y 5 alturas (figura 5).

Elementos del pórtico

Vigas de hormigón armado: 450 mm x 250 mm

Columnas de hormigón armado: 500 mm x 500 mm

Segundo nivel: shearwall SIP

El elemento de relleno de los marcos serán paneles SIP. Sin embargo, debido a las dimensiones con las que se comercializan, se requiere 4 para construir un muro que ocupe todo el espacio del marco (figura 8), adquiriendo el conjunto la geometría que se muestra en la figura 1. Este hecho conlleva una disminución de capacidad y rigidez del muro de corte [6] y es necesario tenerlo en cuenta.

Este fenómeno provoca que dos paneles unidos no se deformen proporcionalmente como si fueran uno solo.

Para reflejar este fenómeno, se propone el siguiente modelo de muro de corte de elementos finitos (figura 6)

El método de unión utilizado para unir el muro al pórtico superior e inferior es un soporte en L de acero de 3 mm de espesor (figura 7).

El método de enlace para unir dos paneles adyacentes es un anclaje plano (figura 8).

Metodología y software

El método seguido para realizar los experimentos es el análisis pushover NLSA.

Una vez aplicadas las cargas, el punto de desempeño se determinará mediante el software de diseño estructural SAP2000.

Gráfico de espectro de respuesta

El espectro de respuesta del suelo es la gráfica de respuesta (figura 9) dada en la superficie libre de la tierra. En este estudio se utilizó la norma NCSE-02 (Normativa de Construcción Sismorresistente de España). Esta normativa establece un espectro de respuesta de superficie elástica normalizado, definido por los siguientes valores:

Si $T < T_A$ $\quad \alpha(T) = 1 + 1{,}5 \cdot T/T_A$

Si $T_A \leq T \leq T_B$ $\quad \alpha(T) = 2{,}5$

Si $T > T_B$ $\quad \alpha(T) = K \cdot C/T$

donde,

$\alpha(T)$ Valor del espectro de respuesta elástica normalizado;

T Periodo del oscilador, en segundos;

K Coeficiente de contribución;

C Coeficiente del terreno.

Además de las cargas verticales, se aplicaron una serie de cargas laterales, de disposición triangular.

Results and discussion

The points of interest related to test results are shown in Table 1.

Performance point. It is a point up to which the structure shows an elastic behaviour. This point is determined by the shear base values and the displacement in the control node. The method used to find the performance point was through ATC-40 equations.

Table 1. Results at performance point.

Specimen a	Performance point	
	$V_b\ (KN)$	$\delta\ (mm)$
Bare	320,149	41
18FN	456,16	31
18FY	424,527	33
18SN	462,205	30
18SY	430,502	33
18TN	457,951	30
18TY	426,844	32
36FN	511,574	25
36FY	482,67	28
36SN	512,801	24
36SY	483,559	28
36TN	510,041	24
36TY	481,262	27
80FN	560,387	18
80FY	536,456	22
80SN	563,037	17
80SY	540,238	21
80TN	562,57	17
80TY	538,615	20

These results make it possible to organize the data obtained in the analysis, with the aim of carrying out a more detailed study on the behaviour of the structure.

Base shear at performance point according to thickness

Thicker plywood sheets led to an increase in the shear base at the performance point. This increase in mass makes the wall stiffer and therefore, the bay in which it is located, becomes stiffer too. This increased stiffness gives the structure the ability to accumulate a higher shear base at the performance point.

Because the purpose of this study is to study the behaviour of the structure against lateral actions and having observed better performance in thick panels, discussion will focus on 80mm panels.

Base shear at performance point according to shearwall location

Results showed that locating the infill in middle bays gave the structure the ability to accumulate a higher shear base in the performance point (Figure 12).

Structures with infilled bays opposite the lateral load solicitation obtained, in turn, a higher shear base in the performance point than those that are close to this load.

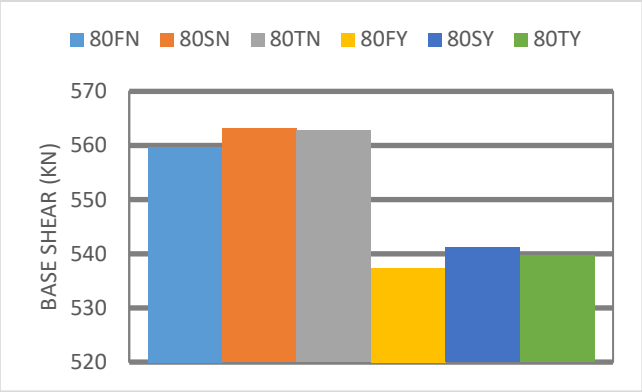


Figure 12 Base shear in 80mm thickness specimens.

Plastic hinges at performance point

Perforated walls show a smaller number of plastic hinges than in their solid counterparts. Opening presence leads a stiffness decrease in the bay and therefore in the whole structure (Table 2).

Table 2. Number of hinges formed at performance point.

	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	
Bare	58	12	0	0	0	0		12
80FN	58	12	0	0	0	0		12
80SN	59	11	0	0	0	0		11
80TN	58	12	0	0	0	0		12
80FY	59	11	0	0	0	0		11
80SY	61	9	0	0	0	0		9
80TY	61	9	0	0	0	0		9

Possible plastic hinges in the structure 70

Stress distribution

Central panels in every bay shows a rocking behaviour as they try to rotate about an axis out of plane. The solid wall shows a stress concentration in the brackets located at the top and bottom of the panels. Manifest a tensile performance in the upper right corner and in the lower left corner; and compression in the upper left corner and in the lower right corner (Figure 13).

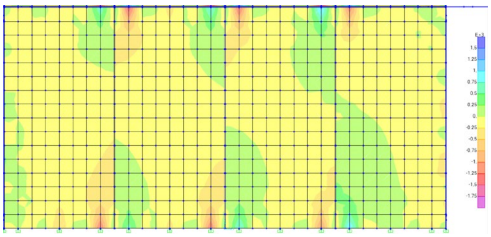


Figure 13: Stress distribution for ground floor, 80SN specimen.

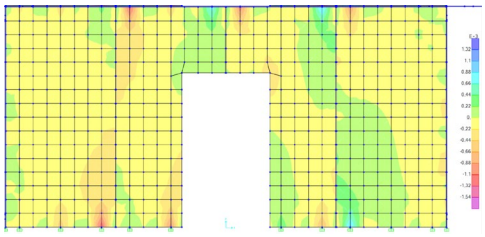


Figure 14: Stress distribution for ground floor, 80SY specimen.

Walls with openings, shows the same effect as in solid walls, with a slight concentration of stresses located in the upper corners of the opening (Figure 14). These corners tend to open (tensile performance) in the upper left corner, and close (compression performance) in the upper right corner.

Base shear at performance point according to opening presence

Regarding opening presence, it has been observed that its presence reduces base shear at performance point, as expected due to the decrease of the stiffness of the whole structure.

In addition, this decrease is proportional for different thickness (Table 3). As plywood sheets becomes thicker, opening has less influence on the accumulated shear base achieved.

Table 3. Reduction factor for base shear due to opening presence.

Thickness (mm)	Opening/Full
18	0,93
36	0,94
80	0,96

Capacity curve

The results show that the behaviour is similar for specimens that share thickness and presence of openings (Figure 15). However, the capacity curves of perforated walls have a lower slope, which represents a lower ability to accumulate base shear at a given drift.

Furthermore, the results demonstrate that the performance point for these configurations has been around the same base shear value.

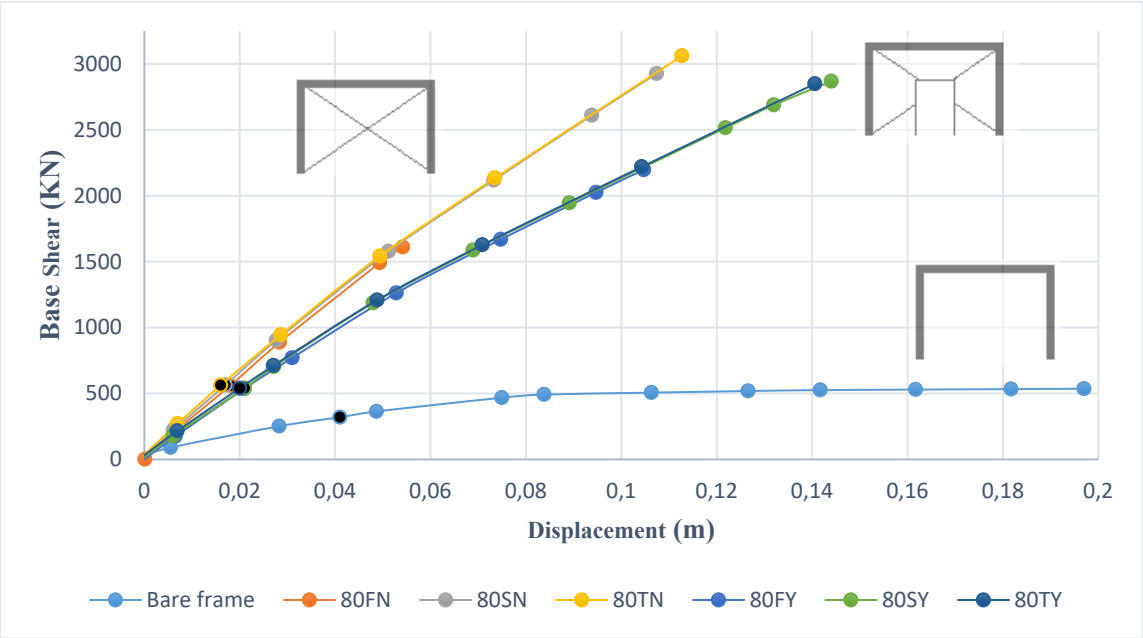


Figure 15: Capacity curve for 80mm thick panels specimens. Black points represent performance points.

Resultados y discusión

Los puntos de interés relacionados con los resultados de las pruebas se muestran en la tabla 4.

Punto de desempeño. Es un punto hasta el cual la estructura muestra un comportamiento elástico. Este punto está determinado por los valores de la base de cortante y el desplazamiento en el nodo de control. El método utilizado para encontrar el punto de desempeño fue a través de las ecuaciones ATC-40.

Estos resultados permiten organizar los datos obtenidos en el análisis, con el objetivo de realizar un estudio más detallado del comportamiento de la estructura.

Cortante base en el punto de desempeño, según espesor

Las láminas de madera contrachapada más gruesas comportaron un aumento en términos de cortante basal en el punto de desempeño. Este aumento de masa de relleno hace que el muro sea más rígido y, por lo tanto, el vano en el que se encuentra también se vuelve más rígido. Este aumento de rigidez le da a la estructura la capacidad de acumular un cortante basal mayor en el punto de desempeño.

Debido a que el propósito de este experimento es estudiar el comportamiento de la estructura frente a acciones laterales y habiendo observado un mejor desempeño en paneles gruesos, la discusión se centrará en paneles de 80 mm.

Corte de base en el punto de desempeño según la ubicación del muro de corte

Los resultados mostraron que la ubicación del relleno en los vanos intermedios le dio a la estructura la capacidad de acumular un cortante basal mayor en el punto de desempeño (figura 10).

Las estructuras con vanos rellenos opuestas a la solicitación de carga lateral obtuvieron, a su vez, un cortante basal mayor en el punto de desempeño que los cercanos a esta carga.

Rótulas plásticas en el punto de desempeño

Los muros con huecos muestran un número menor de rótulas plásticas que en sus contrapartes macizos. La presencia de un hueco conlleva una disminución de la rigidez en el vano y por tanto en toda la estructura (tabla 5).

Distribución de tensiones

Los paneles centrales en cada vano muestran un comportamiento oscilante cuando intentan rotar alrededor de un eje fuera del plano. El muro sólido muestra una concentración de tensiones en los anclajes ubicados en la parte superior e inferior de los paneles. Manifiesta un comportamiento a tracción en la esquina superior derecha y en la esquina inferior izquierda; y a compresión en la esquina superior izquierda y en la esquina inferior derecha (figura 11).

Los muros con huecos, muestran el mismo efecto que los muros macizos, con una ligera concentración de tensiones ubicadas en las esquinas superiores del hueco (figura 12). Estas esquinas tienden a abrirse (rendimiento de tracción) en la esquina superior izquierda y cerrarse (rendimiento de compresión) en la esquina superior derecha.

Cortante basal en el punto de desempeño en función de la presencia de huecos

En cuanto a la presencia de huecos, se ha observado que su presencia reduce el cortante basal en el punto de desempeño, como se esperaba debido a la disminución de la rigidez en toda la estructura.

Además, esta disminución es proporcional para diferentes espesores (tabla 6). A medida que las láminas de madera contrachapada se vuelven más gruesas, el hueco tiene menos influencia en el cortante basal acumulado.

Curva de capacidad

Los resultados muestran que el comportamiento es similar para especímenes que comparten espesor y presencia de huecos (figura 13). Sin embargo, las curvas de capacidad de los muros con huecos tienen una pendiente más baja, lo que representa una menor capacidad para acumular cortante basal en un desplome determinado.

Además, los resultados demuestran que el punto de desempeño para estas configuraciones ha estado alrededor del mismo valor de cortante basal.

Conclusion

Performance point presents about 500KN of base shear in every infilled specimen. Drift at this point reaches values from 30mm, to 20mm, for stiffer panel. This phenomenon is explained by the fact that the stiffness provided by the filling allows the structure to accumulate a similar shear base value, decreasing its ductility.

Adding infills in intermediate bays leads to a decrease in drift at performance point. The opposite effect is given by including the infills in bays close to the lateral load application points.

For the studied load context, it has been observed that the four panels that make up infilled bays shows rocking behavior, leading to a stress concentration in the union area with the brackets. It should be added that stresses distribution diagrams reveal a stress concentration in the upper corners of the openings.

The presence of openings slightly decreased the base shear value at performance point, but abruptly decreased its drift value. This phenomenon is explained due to the lack of stiffness due to the absence of material and to inertias that occur because it is a geometry with less symmetry than that found in solid walls. It should be added that, as observed in Table 3, the decrease in the shear base due to the presence of openings is greater the lower the infill stiffness contribution.

Conclusión

El punto de desempeño presenta aproximadamente 500KN de cortante basal en cada muestra con muros pantalla. El desplome en este punto alcanza valores de 30 mm a 20 mm para un panel más rígido. Este fenómeno se explica por el hecho de que la rigidez que aporta el relleno permite que la estructura acumule un valor cortante basal similar, disminuyendo su ductilidad.

Agregar rellenos en vanos intermedios conduce a una disminución del desplome en el punto de desempeño. El efecto opuesto se obtiene al incluir los rellenos en vanos cercanos a los puntos de aplicación de carga lateral.

Para el contexto de carga estudiado, se ha observado que los cuatro paneles que componen los vanos rellenos presentan un comportamiento de oscilación, lo que lleva a una concentración de tensiones en la zona de unión con los anclajes. Cabe agregar que los diagramas de distribución de tensiones revelan una concentración de tensiones en las esquinas superiores de los huecos.

La presencia de huecos disminuyó ligeramente el valor de cortante basal en el punto de desempeño, pero disminuyó abruptamente su valor de desplome. Este fenómeno se explica por la falta de rigidez debido a la ausencia de masa y por las inercias que se producen por ser una geometría con menos simetría que la encontrada en los muros macizos. Cabe agregar que, como se observa en la tabla 6, la disminución de cortante basal por presencia de huecos es mayor cuanto menor es la contribución a la rigidez del relleno.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

[1] J. B. Jamison, “Monotonic and Cyclic Performance of Structrually Insulated Panel Shear Walls,” Virginia Polytechnic Institute and State University, 1997.

[2] T. Skaggs, B. Yeh, X. Wang, and T. Williamson, “Lateral Load Performance of SIP Walls with Full Bearing,” 2018.

[3] M. Dolšek and P. Fajfar, “The Effect of Masonry Infills on the Seismic Response of a Four-Storey Reinforced Concrete Frame - a Deterministic Assessment,” *Eng. Struct.*, vol. 30, no. 7, pp. 1991–2001, 2008.

[4] J. C. Franscisco, J. C. Athol, and P. Robert, “Analytical modelling of infilled frame structures-a general review,” *Bull. New Zeal. Soc. Earthq. Eng.*, no. May, pp. 30–47, 2000.

[5] A. Kaveh and P. Zakian, “Seismic Design Optimisation of RC Moment Frames and Dual Shear Wall-Frame Structures VIA CSS Algorithm,” *Asian J. Civ. Eng.*, vol. 15, no. 3, pp. 435–465, 2014.

[6] R. J. Kochkin, Vladimir; Rammer, Douglas R.; Kauffman, Kevin; Williamson, Thomas; Ross, “SIP shear walls: Cyclic performance of high aspect ratio segments and perforated walls,” *Home Innov. Res. Labs*, no. December, 2015.

TÉCNICAS DIGITALES PARA EL ESTUDIO DE BÓVEDAS COMPLEJAS

DIGITAL TECHNIQUES FOR THE STUDY OF COMPLEX VAULTS

Concepción López González
Investigadora en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrito al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Catedrática de Escuela Universitaria, Doctora Arquitecta. E-mail: mlopezg@ega.upv.es
Researcher in PEGASUS Research Center for Architecture, Heritage and Sustainable Management and assigned the Department of Architectural Graphic Expression; Universitat Politècnica de València, Senior Lecturer, PhD Architecture by the UPV. E-mail: mlopezg@ega.upv.es
Roberta Spallone
Arch. Ph. D.; Professore Ordinario ICAR/17– Disegno; Politecnico di Torino, DAD – Dipartimento di Architettura e Design; Viale Mattioli 39, 10125 Torino; E-mail: roberta.spallone@polito.it
Arch. Ph. D.; Full Professor of the Department of Architecture and Design of the Politecnico di Torino; viale Mattioli 39, 10125 Torino; E-mail: roberta.spallone@polito.it
: mlopezg@ega.upv.es
Marco Vitali
Arch. Ph. D.; Professore associato ICAR/17 – Disegno; Politecnico di Torino, DAD – Dipartimento di Architettura e Design; Viale Mattioli 39, 10125 Torino; E-mail: marco.vitali@polito.it
Arch. Ph. D. ; Professor of the Department of Architecture and Design of the Politecnico di Torino; viale Mattioli 39, 10125 Torino; E-mail: marco.vitali@polito.it

Abstract

Professors Roberta Spallone and Marco Vitali of the Politecnico di Torino have in-depth studied the complex vaults of the atriums of the Turinese palaces, carrying out a classification of the vaults into three types: “planterian”, “star-shaped” and “a fascioni”. The first two types were analyzed and the results published. In this study, the massive data collection and drawing of the vaults called “a fascioni” or by arches or bands was carried out. 13 palaces were cataloged whose atriums are covered with this type of vaults. For the subsequent geometric analysis, digital modeling, and comparison with the textbook literature, the atria and staircases of each one of them were scanned with a Faro model Focus 130-3D scanner. The scans were previously planned due to the difficulty of scanning complex curved surfaces where the angle of incidence has large variations. The processing of the clouds was carried out with the Scene-19 program. Scaled orthophotos were obtained and exported to AutoCAD using e-57 files.

The point clouds made it possible to geometrically obtain the real curvatures of the intrados surfaces that make up the vaults separated by of bands or arches. It was found that these are independent vaults, divided by the arches to decompose the space as Guarino Guarini proposed in his treatise.

This study is the result of the research stay granted by the Ministry of Science, Innovation and Universities to carry out the project "New technologies for the analysis and conservation of architectural heritage".

Keywords

"A fascioni" vaults; Banded vaults; Turin baroque palaces; Composed vaults survey

Introducción

En Turín el barroco se desarrolla de una forma brillante y excepcional debido fundamentalmente a dos razones convergentes en el tiempo: El impulso renovador del duque Carlos Manuel I y la influencia de la Contrarreforma (Norberg-Schulz, 1972:78). La ciudad se organizó en torno a un nuevo centro significativo concretado en la *piazza Castello* diseñada por el arquitecto Vitozzi, a quien se debe también la creación del nuevo eje en dirección sur, la actual *via Roma.* Tanto la plaza como la calle principal estaban delimitadas por fachadas uniformes basadas en ritmos horizontales continuos. Esta renovación urbana fue continuada por el arquitecto Carlo di Castellamonte, autor del diseño de la magnífica *piazza San Carlo,* de la porticada y principal *via Po* y del palacio Real. La ciudad se estructura de forma muy homogénea debido, sin duda, al modelo romano de vías ortogonales con un centro principal del que partes las principales vías de la ciudad.

En este nuevo escenario urbano se desarrollan unos espléndidos palacios barrocos. Arquitectos de la categoría de Juvarra o Guarini son los encargados de diseñar muchas de estas obras barrocas, construidas entre el último decenio del seiscientos y el año 80 del setecientos y que, en muchos casos, continúan en manos privadas. El *palazzo Carignano*, diseñado por Guarino Guarini (1679-1685), es el ejemplo más internacionalmente conocido con un atrio de planta elíptica delimitado por la escalera que se manifiesta al exterior mediante curvas convexas que forman una envoltura ondulante continua. Sin embargo, existen multitud de ejemplos menos conocidos, incluso entre los propios turineses, que rivalizan entre ellos proponiendo soluciones de gran belleza y calidad arquitectónica. Caben destacar el *palazzo Provana di Collegno* cuya autoría se debe a Guarino Guarini; el *palazzo Birago di Borgaro* y el *palazzo Martini di Cigala,* ambos obra del arquitecto Filippo Juvarra; asimismo, el *palazzo Cavour,* el *palazzo d'Arcour* y el *palazzo Saluzzo Paesana* diseñados por Gian Giacomo Plantery; el *palazzo Coardi di Carpenetto* de Amedeo di Castellamonte, el *palazzo Galleani di Canelli* diseñado por Luigi Michele Barberis, el *Palazzo Cotti di Brusasco*, obra de Nicolis di Robilant o el *palazzo Villanis* de Bernardo Vittone entre otros muchos. En el centro histórico de Turín se han inventariado 71 palacios barrocos que tienen este tipo de atrio abovedado. (Spallone y Vitali, 2017: 176-223)

La organización espacial de estos palacios promovidos por la nobleza turinesa, se basa en el desarrollo edificatorio en torno a un patio o *cortile*, dando como resultado una arquitectura cerrada volcada al patio central, convertido de este modo en el auténtico centro focal y organizador del espacio. Lógicamente, el atrio de acceso al palacio desde el exterior adquiere un protagonismo desmesurado por ser el eje de comunicación principal y el lugar donde se articulan los dos espacios perimetrales principales: la escalera de acceso a la planta noble y el patio central, verdadero organizador de toda la construcción.



Imagen 1. *Palazzo Carignano* (Guarini) 1679. Escalera elíptica. Fachada principal. C. López
Image 1. *Palazzo Carignano* (Guarini) 1679. Elliptical staircase. Main facade C. López

Introduction

In Turin, the Baroque era develops brilliantly and exceptionally, mainly due to two convergent reasons over time: The renewal impulse of Duke Carlos Manuel I and the influence of the Counter-Reformation (Norberg-Schulz, 1972: 78). The city was organized around a new significant center concretized in the Piazza Castello, designed by the architect Ascanio Vittozzi, who is also responsible for the creation of the new southbound axis, the current Via Roma. Both the plaza and the main street were bounded by uniform facades based on continuous horizontal rhythms. This urban renewal was continued by the architect Carlo di Castellamonte, author of the design of the magnificent Piazza San Carlo, the porticoed and main Via Po and the Royal Palace. The city is structured in a very homogeneous way, undoubtedly due to the Roman model of orthogonal roads with a main center from which the main roads of the city start.

In this new urban setting, some splendid Baroque palaces developed. Architects of the category of Juvarra or Guarini were in charge of designing many of these Baroque works, built between the last decade of the 17th century and the ‘80 of 18th century and that, in many cases, continued in private hands.

Palazzo Carignano, designed by Guarino Guarini (1679-1685), is the most internationally known example of Turin Baroque palaces, with an elliptical plan atrium delimited by the staircase that manifests itself outside through convex curves that form a continuous undulating envelope. However, there are many less-known examples, even among the Turin’s themselves, which rival each other by proposing solutions of great beauty and architectural quality. It is worth highlighting the palazzo Provana di Collegno, whose authorship is due to Guarino Guarini; the Palazzo Birago di Borgaro and the Palazzo Martini di Cigala, both designed by the architect Filippo Juvarra; likewise, the Palazzo Cavour, the Palazzo d’Arcour and the Palazzo Saluzzo Paesana designed by Gian Giacomo Plantery; the Palazzo Coardi di Carpenetto by Amedeo di Castellamonte, the Palazzo Galleani di Canelli designed by Luigi Michele Barberis, the Palazzo Cotti di Brusasco, the work of Nicolis di Robilant, or the Palazzo Villanis by Bernardo Vittone among many others. 71 Baroque palaces with this kind of atrium have been inventoried in the historic center of Turin. (Spallone and Vitali, 2017: 176 -223).

The spatial organization of these palaces, promoted by the Turin nobility, is based on the building development around a patio or cortile, resulting in a closed architecture facing the central patio, thus becoming the authentic focal and organizing center of the space. Logically, the atrium of access to the palace from the outside acquires an inordinate role as it is the main communication axis and the place where the two main perimeter spaces are articulated: the access staircase to the noble floor and the central patio, a true organizer of all construction.



Imagen 2. A la derecha bóvedas del atrio del *Palazzo Birago di Borgaro* (Juvarra) 1716.
A la izquierda bóvedas del *Palazzo Martini di Cigala* (Juvarra) 1716. C. López
Image 2. On the right vaults of the atrium of the *Palazzo Birago di Borgaro* (Juvarra) 1716
On the left vaults of the atrium of the *Palazzo Martini di Cigala* (Juvarra) 1716. C. López

En este marco se inició en el año 2012 un proyecto de investigación destinado al estudio de las bóvedas que cubren los atrios de los palacios barrocos turineses. Se trata bóvedas compuestas cuya imagen intradorsal revela una complejidad geométrica de formas generadas mediante la composición de diferentes superficies con la finalidad de obtener movimiento y ligereza así como una sensación de continuidad espacial. Esta investigación fue llevada a cabo por los profesores del Politecnico di Torino Roberta Spallone y Marco Vitali. En ella se afrontó la interpretación geométrica de la formación de las superficies intradorsales de estas bóvedas complejas. En el trabajo desarrollado se conjugan diferentes aspectos disciplinares del dibujo y la geometría: desde el análisis gráfico y la modelación digital reconstructiva de las fuentes tratadísticas, al levantamiento y la restitución tridimensional. El proyecto tuvo varias fases, comenzando por un inventario de todos los atrios de palacios barrocos que disponían de este tipo de bóvedas, situados en el centro histórico de la ciudad. Posteriormente se realizó el levantamiento de planos de una selección de casos de estudio destinado a la realización de un análisis geométrico de las superficies que conforman estas complejas bóvedas. Todo ello llevó a una catalogación de bóvedas divididas en tres tipos fundamentales:

1.- Planterianas, denominadas así por ser el arquitecto Gian Giacomo Plantery quien las populariza: tienen planta rectangular y están formadas por una bóveda principal que es intersectada por bóvedas axiales y angulares.
2.- Esteladas o *stellari*, por su forma estrellada: de origen guariniano, suelen tener planta oval o elíptica cubierta por una superficie principal cortada por planos radiales formando un esquema radiocéntrico.
3.- Y por último las bóvedas denominadas *a fascioni* que podríamos traducir al español por bóvedas formadas por arcos o por bandas.



Imagen 3. A la izquierda un ejemplo de bóveda planteriana. Atrio del *Palazzo Cavour* (Plantery) 1729.
A la derecha un ejemplo de bóveda estelada. Atrio del *Palazzo Carignano* (Guarini) 1679. C. López Image 3. On the left an example of a planterian vault. Atrium of the Palazzo Cavour (Plantery) 1729.
On the right an example of a star-shaped vault. Atrium of the Palazzo *Carignano* (Guarini) 1679.. C. López

Los dos primeros tipos fueron profundamente analizados y los resultados publicados en el libro *Volte stellari e planteriane negli atri barocchi in Torino* (Spallone y Vitali, 2017); el tercer tipo, del que fueron inventariados 13 palacios, está siendo investigado en la actualidad, en colaboración con la Universitat Politècnica de València, en el marco del proyecto de “Nuevas tecnologías para el análisis y conservación del patrimonio arquitectónico” financiado por el Ministerio de Ciencia, Investigación y Universdades. Este tipo de bóvedas basan su complejidad en la formación de superficies intradorsales delimitadas por arcos ortogonales que dividen la bóveda en sectores con una clara intencionalidad de descomposición espacial. Su origen lo encontramos en la Architettura Civile (1737) de Guarino Guarini: en el Tratado III, al comienzo del Vigesimosexto, "Delle Volte, e varj modi di farle", dedica la Novena Observación a las bóvedas “en bandas”, describiendo la subdivisión de los espacios mediante arcos delimitadores de sectores independiente con la finalidad de ser cubiertos por una gran variedad de superficies. La lámina XX del Tratado III describe un modelo de bóveda de "bandas" en proyecciones ortogonales

Within this framework, in 2012 a research project began, aimed at studying the vaults that cover the atriums of Turin Baroque palaces. These are composite vaults whose image reveals a geometric complexity of shapes generated by the composition of different surfaces to obtain movement and lightness as well as a sensation of spatial continuity. This research was carried out by the Politecnico di Torino professors Roberta Spallone and Marco Vitali. In it, the geometric interpretation of the surfaces composing these complex vaults was addressed. In the work developed, different disciplinary aspects of drawing and geometry are combined: from graphic analysis and reconstructive digital modeling of treatise sources, to drawing and three-dimensional restitution. The project had several phases, starting with an inventory of all the atria of Baroque palaces that had this type of vaults, located in the historic center of the city. Subsequently, the plans were raised for a selection of case studies aimed at conducting a geometric analysis of the surfaces that make up these complex vaults. All this led to the cataloging of vaults divided into three fundamental types:

1.- Planterians, named for being the architect Gian Giacomo Plantery who popularizes them: they have a rectangular plan and are formed by a main vault that is intersected by axial and angular vaults.
2.- Star-shaped or *stellari*, due to their star shape: of Guarinian origin, they usually have an oval or elliptical plan covered by a main surface cut by radial planes forming a radiocentric pattern.
3.- And finally, the vaults called “a fascioni” that we could translate in vaults formed by arches or bands.



Imagen 4. Bóvedas del atrio del *Palazzo Barolo* (Gian Francesco Baroncelli) 1692. C. López
Image 4. Vaults of the atrium of *Palazzo Barolo* (Gian Francesco Baroncelli) 1692. C. López

The first two types were deeply analyzed and the results published in the book Star-Shaped and Planterian Vaults in Turin Baroque Atria (Spallone and Vitali, 2017); The third type, of which 13 palaces were inventoried, is currently being investigated, in collaboration with the Polytechnic University of Valencia, within the framework of the project “New technologies for the analysis and conservation of architectural heritage” financed by the Ministry of Science, Research and Universities. This type of vaults bases its complexity on the formation of intrados surfaces delimited by orthogonal arches that divide the vault into sectors with a clear intention of spatial decomposition. Its origin is found in the Architettura civile (1737) of Guarino Guarini: in Treatise III, at the beginning of the 26th, “Delle Volte, e varj modi di farle”, he dedicated the Ninth Observation to the banded vaults, describing the subdivision of the spaces through independent sector delimiting arches in order to be covered by a wide variety of surfaces. Plate XX of Treatise III describes a banded vault model in orthogonal projections.

Objetivo y metodología

El objetivo principal de la primera parte de la investigación fue la toma de datos masiva y levantamiento de planos de las bóvedas complejas denominadas *a fascioni* que se pueden traducir por bóvedas por arcos o bandas. Como vimos, se trata de bóvedas compuestas cuyos arcos diafragmáticos dividen el espacio en cuadrículas. Este es el paso previo para el posterior análisis geométrico, constructivo y tratadístico de dichas bóvedas. La toma de datos debe ser muy rigurosa para asegurar la fiabilidad de los resultados ya que este tipo de bóvedas, por su morfología, entraña una descomposición de espacios delimitados por arcos de diferentes curvaturas sobre los que apoyan superficies curvilíneas cuyos radios de curvatura varían de unas a otras. Estas difíciles características de las envolventes espaciales aconsejan el uso del escáner láser terrestre (TLS). Los datos obtenidos con esta tecnología se convierten en modelos de fácil manejo, idóneos para la posterior comparación con los prototipos geométricos establecidos en la literatura. El uso de sistemas directos de toma de medidas tradicionales mediante distanciómetro láser o estación topográfica no son suficientes porque basan su eficacia en concretar una serie de puntos discrecionales pertenecientes a la bóveda, pero no establecen datos de toda la superficie abovedada Por ello no son determinantes para detectar las posibles deformaciones que las superficies abovedadas han podido sufrir a lo largo del tiempo.

Se realizó el escaneado de los atrios y escaleras de cada uno de ellos con un escáner láser de la marca Faro modelo Focus 130-3D. Previamente al inicio del proceso se programaron los puntos de ubicación de las diferentes estaciones por la dificultad que supone escanear superficies curvas complejas donde el ángulo de incidencia tiene grandes variaciones. Para ello se realizaron croquis previos que contribuyeran al conocimiento del edificio. Sobre estos croquis se estableció el programa secuencial de estaciones de escaneado atendiendo a dos factores: que existiera el suficiente solapamiento entre los escaneados para que la posterior unión de las nubes de puntos se realizara sin dificultad; y que no existieran puntos ciegos en el resultado final.

El procesado de las nubes se realizó con el programa Scene-19. Para facilitar el registro y procesamiento automático se utilizaron esferas referenciales. La ubicación de las esferas estuvo condicionada a la visibilidad simultánea de tres de ellas desde dos escaneados consecutivos así como a la no alineación de las mismas. Una vez finalizado el procesamiento de la nube, se obtuvieron ortofotos escaladas y se exportó a AutoCAD mediante archivos .e57.

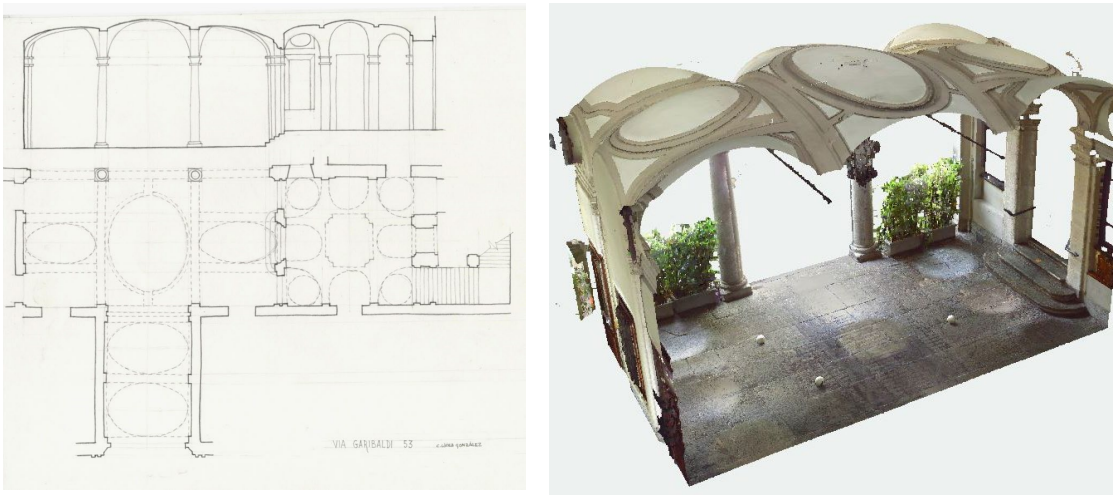


Imagen 5. A la izquierda el croquis previo al escaneado del palacio de la vía Garibaldi 53. Autor: C. López
A la una sección de la nube de puntos del atrio del palacio en Via Garibaldi 53 donde se aprecian las esferas referenciales y los cículos en el suelo donde se ubicarton los escaneados: uno debajo de cada bóveda para evitar puntos ciegos Procesado: C. López
Image 5. On the left, the sketch prior to scanning the palace on Via Garibaldi 53. Author: C. López
On the right a section of the point cloud of the palace atrium in Via Garibaldi 53 where the referential spheres and the circles on the ground where the scans are located can be seen: one under each vault to avoid blind spots Processed: C. López

Objective and methodology

The main objective of the first part of the research was the massive data collection and survey of the complex vaults called “a fascioni” that can be translated into arched or banded. As we have seen, these are composed vaults whose diaphragmatic arches divide the space into grids. This is the previous step for the subsequent geometric, constructive, and treatise analysis of said vaults. The data collection must be very rigorous to ensure the reliability of the results since this type of vault, due to its morphology, involves a decomposition of spaces delimited by arches of different curvatures on which curvilinear surfaces whose radii of curvature vary from about to others. These difficult characteristics of space envelopes advise the use of the Terrestrial Laser Scanner (TLS). The data obtained with this technology are converted into easy-to-use models, suitable for later comparison with the geometric prototypes established in the literature. The use of direct systems for taking traditional measurements by means of a laser distance meter or topographic station are not enough because they base their effectiveness on specifying a series of discretionary points belonging to the vault, but they do not establish data for the entire vaulted surface todetect the possible deformations that the vaulted surfaces have suffered over time.

The atria and staircases of each building were scanned with a laser scanner from the Faro brand, model Focus 130-3D. Prior to the beginning of the process, the location points of the different stations were programmed due to the difficulty of scanning complex curved surfaces where the angle of incidence has large variations. For this, previous sketches were made that would contribute to the knowledge of the building. On these sketches, the sequential program of scanning stations was established, taking into account two factors: that there was sufficient overlap between the scans so that the subsequent union of the point clouds could be carried out without difficulty; and that there were no blind spots in the final result.

The processing of the clouds was carried out with the Scene-19 program. Referential spheres were used to facilitate automatic registration and processing. The location of the spheres was conditioned by the simultaneous visibility of three of them from two consecutive scans as well as their non-alignment. After the cloud processing was complete, scaled orthophotos were obtained and exported to AutoCAD using .e57 files.

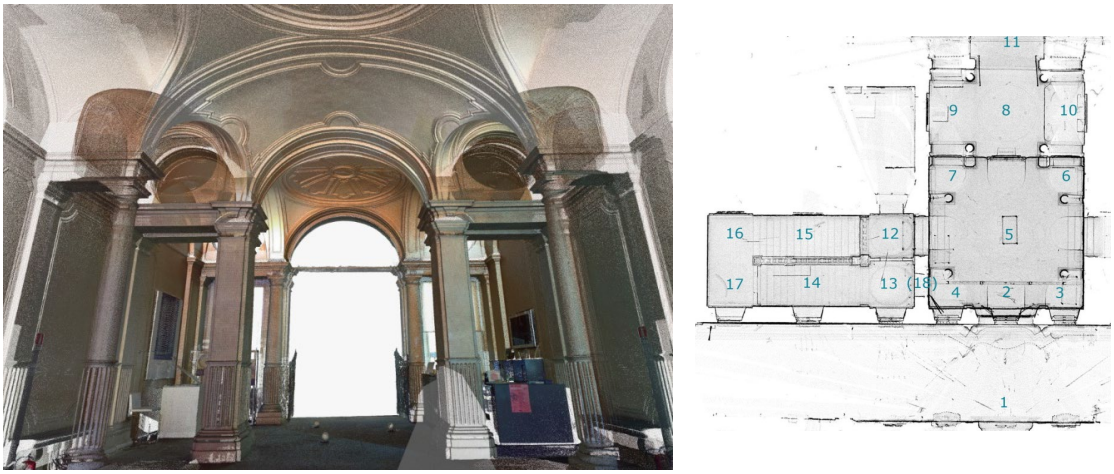


Imagen 6.A la izquierda se muestra la calidad fotográfica de la nube de puntos y la ubicación de esferas en el *Palazzo Mazzonis* (Benedetto Alfieri). A la derecha se indica la ubicación de las estaciones de escaneado sobre el mapa elaborado a través del software Scene-19 del *Palazzo Mazzonis*. C. López

Image 6. On the left is the photographic quality of the point cloud and the location of spheres in the Palazzo Mazzonis (Benedetto Alfieri). On the right, the location of the scanning stations is indicated on the map made using the Scene-19 software of the Palazzo Mazzonis. C. López

Resultados

La toma de datos masiva realizada con el escáner láser 3D fue la base para la posterior digitalización y modelado 3D del prototipo descrito por Guarini para la construcción de bóvedas *a fascioni* o por arcos. La posibilidad que ofrece el software Scene-19 de extraer ortofotos escaladas de las secciones realizadas a la nube de puntos, permite apreciar a simple vista la continuidad o la falta de ella entre las bóvedas que componen el entramado reticular de la bóveda compuesta.

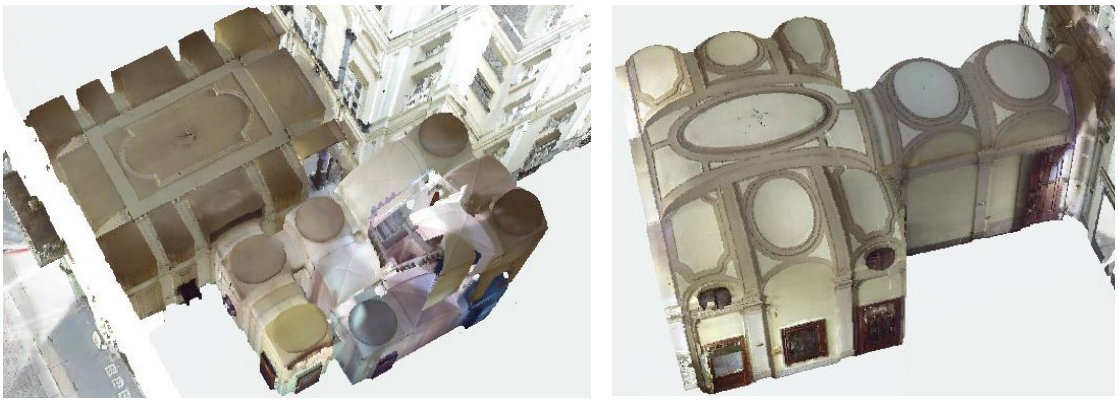


Imagen 6. De izquierda a derecha: Nubes de puntos de los palacios: Martini di Cigala (Juvarra) y Vía Garibaldi 53. C. López
Image 6. From left to right: Point clouds of the palaces: Martini di Cigala (Juvarra) and Via Garibaldi 53. C. López



Imagen 7. De izquierda a derecha: Ortofotos de las bóvedas en planta del *Palazzo* Martini di Cigala y del palacio en Via Garibaldi 53. C. López
Image 7. From left to right: Orthophotos of the plan vaults of the *Palazzo Martini di Cigala* and the building in Via Garibaldi 53. C. López



Imagen 8: De izquierda a derecha: Ortofotos de las secciones transversales de las bóvedas del Palazzo Martini di Cigala y del palacio en Via Garibaldi 53. C. López
Image 8. From left to right: Orthophotos of the cross sections of the vaults of the Palazzo Martini di Cigala and of the building in Via Garibaldi 53. C. López

Results

The massive data collection carried out with the 3D laser scanner was the basis for the subsequent digitization and 3D modeling of the prototype described by Guarini for the construction of "a fascie" or banded vaults. The possibility offered by the Scene-19 software to extract scaled orthophotos from the sections made to the point cloud, allows the naked eye to appreciate the continuity or lack of it between the vaults that make up the latticework of the composite vault.

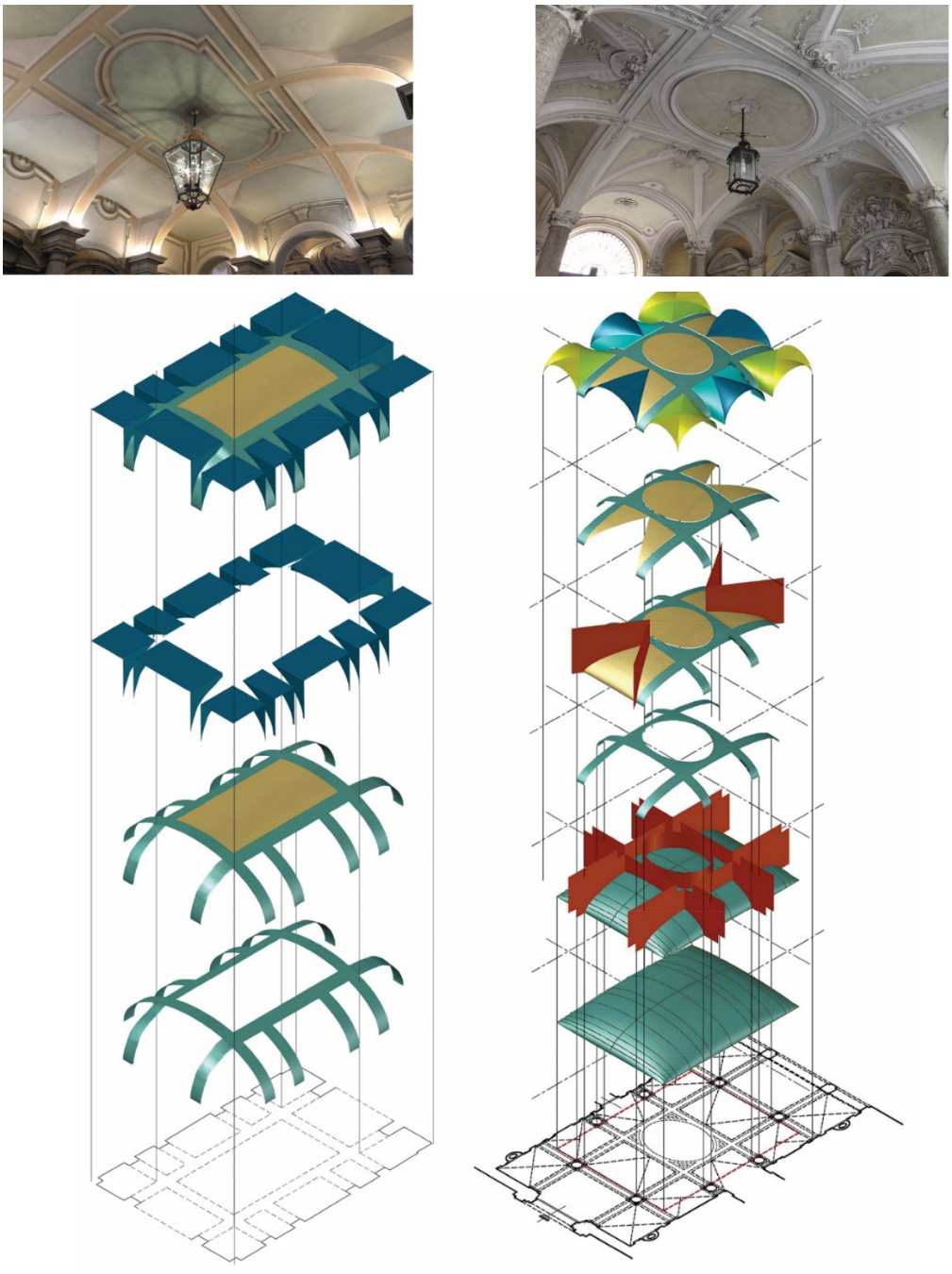


Imagen 9. En la columna de la izquierda: imagen de las bóvedas del *Palazzo Barolo* (Gian Francesco Baroncelli). En la columna de la derecha: imagen de las bóvedas del *Palazzo Coardi di Carpenetto* (Amedeo di Castellamonte)
Análisis geométrico. R. Spallone, M. Vitali.

Image 9. In the left column: image of the vaults of the *Palazzo Barolo* (Gian Francesco Baroncelli). In the right column: image of the vaults of the *Palazzo Coardi di Carpenetto* (Amedeo di Castellamonte)
Geometric analysis. R. Spallone, M. Vitali

Conclusiones

El análisis geométrico a través de la modelación digital reconstructiva de las fuentes tratadísticas aplicadas a cada uno de los casos de estudio pone de manifiesto que, partiendo de unos arcos diafragmáticos ortogonales que dividen el espacio en retículas, se modela una superficie curvilínea en el sector central y otras de diferente curvatura para las retículas perimetrales. Estas últimas, en algunos casos más complejos como en el atrio del *Palazzo Coardi di Carpenetto,* se obtienen mediante la intersección de planos angulares con la formación de los consiguientes lunetos. La superficie curvilínea de la retícula correspondiente al sector central se intersecta a su vez por una elipse. Esta hábil solución contribuye a dulcificar el espacio, alejándolo de la rígida imagen visual que ofrece la simple descomposición ortogonal de las bóvedas.

Conclusions

The geometric analysis through reconstructive digital modeling of the treatise sources applied to each of the case studies shows that, starting from orthogonal diaphragmatic arches that divide the space into grids, a curvilinear surface is modeled in the central sector and others of different curvature for the perimeter grids. The latter, in some more complex cases such as in the atrium of the Palazzo Coardi di Carpenetto, are obtained through the intersection of angular planes with the formation of the subsequent lunettes. The curvilinear surface of the lattice corresponding to the central sector is in turn intersected by an ellipse. This clever solution helps to soften the space, moving it away from the rigid visual image offered by the simple orthogonal decomposition of the vaults.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Guarini, G. 1968. *Architettura Civile.* Introduzione di Nino Carboneri. Note e appendice a cura di Bianca Tavassi La Greca. Milano: Il Polifilo (I ed. 1737).
- Jimenez, A. y Pinto F. 2003. *Levantamiento y análisis de edificios. Tradición y futuro*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- López, C., Spallone, R., Vitali, M., Natta, F. 2020. Baroque banded vaults: surveying and modeling. The case study of a noble palace in Turin. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* Volume XLIII-B2-2020, 2020 XXIV ISPRS Congress (871-878). doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-871-202
- Norbert-Schulz, C. 1972. *Arquitectura barroca*. Madrid: Aguilar.
- Ramos, L., Marchamalo, M., Rejas, J. G., Martínez, R. 2015. Aplicación del Láser Escáner Terrestre (TLS) a la modelización de estructuras: precisión, exactitud y diseño de la adquisición de datos en casos reales. *Informes de la Construcción*, 67 (538): e074, doi: http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.103
- Spallone R y Vitali, M. 2017. *Volte stellari e planteriane negli atri barocchi in Torino / Star-Shaped and Planterian Vaults in Turin Baroque Atria.* Roma: Aracne.

TÉCNICAS DIGITALES PARA EL ANÁLISIS DE LESIONES: IGLESIA DE SAN LORENZO EN VALENCIA

DIGITAL TECHNIQUES FOR INJURY ANALYSIS: SAN LORENZO CHURCH IN VALENCIA

Jorge García Valldecabres
Investigador en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrito al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Titular de Universidad, Doctor Arquitecto. E-mail: jgvallde@ega.upv.es
Researcher in the PEGASUS Research Center for Architecture, Heritage and Sustainable Management and assigned Department of Architectural Graphic Expression; Universitat Politècnica de València, Senior Lecturer, PhD Architecture by the UPV. E-mail: jgvallde@ega.upv.es
Concepción López González
Investigadora en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrito al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Catedrática de Escuela Universitaria, Doctora Arquitecta. E-mail: mlopezg@ega.upv.es
Researcher in PEGASUS Research Center for Architecture, Heritage and Sustainable Management and assigned the Department of Architectural Graphic Expression; Universitat Politècnica de València, Senior Lecturer, PhD Architecture by the UPV. E-mail: mlopezg@ega.upv.es

Abstract

The church of San Lorenzo was built over a mosque after the Christian conquest in 1238. In the 15th century, Nicolás Catalá de Valeriola built a side chapel that in 1908 would be demolished for the construction of the convent. In 1662 the Chapel of the Virgin was built. Between 1681 and 1684 the master Pedro Angost renovated the original church and between 1743 and 1746 José Minguez built the bell tower with a hexagonal plan. In 1902 it became the property of the Franciscans who built a convent. During the civil war it was expropriated and now reopened again. It has a single nave plant with another attached to the gospel side. It is covered by a semicircular barrel vault with lunettes. It has four side chapels on the side of the epistle, following the spatial organization of the old Gothic church, which are accessed through semicircular arches on Corinthian pilasters. It has a high choir at the foot of the temple. The baroque facades have doorways with enclosed oculi and a temple in the corner.

Currently, it requires an intervention aimed at its maintenance and conservation due to the injuries it suffers. It does not have updated planimetry, so the first objective of this study has been to prepare a rigorous survey of plans that serves as a documentary basis for the preparation of the corresponding characterization of materials and mapping of the pathological manifestation. The 3D laser scanner has been used for mass data collection due to the need to detect deformations in the vaults and collapses of walls and pilasters. The data obtained in the point clouds were exported to AutoCad and a complete plan survey was carried out in which the most severe pathology afflicting the building is reflected: At the head there is a seat that has caused the collapse of walls and the appearance of cracks in the vaults and arches. All this is reflected in the plans related to the pathological manifestation

Keywords

TLS; digital techniques; massive data collection; San Lorenzo church planimetry

Introducción

La iglesia de San Lorenzo de Valencia fue una de las 10 mezquitas que el rey Jaime I mandó consagrar y convertir en parroquias cristianas cuando conquistó la ciudad en 1238. Como era habitual, junto a la mezquita existía un baño público y un horno para aprovechar las canalizaciones del agua, tan necesaria en los tres establecimientos. Desde entonces ha sufrido múltiples intervenciones. Inicialmente se construyó una iglesia cristiana utilizando probablemente las estructuras de la mezquita musulmana. En el siglo XV fue ampliada con la construcción de una capilla mandada construir por Nicolás Catalá de Valeriola en terrenos pertenecientes al solar de su casa noble que se encontraba a espaldas de la iglesia (Corbín, 1988:114). Entre 1681 y 1684 se renueva totalmente la primitiva iglesia en una intervención integral promovida por el gremio de carpinteros y llevada a cabo por los maestros Pedro Angost y Tomás Alepuz (ARV, Protocolos de José Fuentes, 959). Como continuación a esta iniciativa de darle a la iglesia una imagen más acorde con los tiempos se encarga a José Minguez, arquitecto con una amplia experiencia en el diseño de campanarios, la construcción de la torre campanario. Se levanta entre 1743 y 1746 con planta hexagonal a diferencia de las torres de planta cuadrada que habían venido construyéndose hasta el momento. En 1770 Antonio Gilabert, Vicente Gascó y José Bautista Minguez elaboran un informe evaluando unas grietas en arcadas y bóvedas (Bérchez, 1987:78). Probablemente en esta fecha ya comenzó a tener problemas de asientos diferenciales. En 1902 pasa a ser propiedad de los Francisco que construyen su convento junto a la iglesia para lo cual derribaron la capilla de la Virgen del siglo XV, quedando alguna cúpula de las capillas laterales incorporada al patio de luces del convento. Entre 1912 y 1913 se intervino en la bóveda del templo. Se renovó la techumbre íntegramente, sustituyéndose por una nueva de teja, con menor pendiente y sustentada con tirantes de hierro. Durante la guerra civil (1936-39) la iglesia y convento fueron expropiados a los franciscanos quedando cerrada al público. Una vez finalizada la contienda la iglesia fue nuevamente reabierta.

Todos estos avatares, así como las características del terreno sobre el que asienta junto al cauce del río Turia, han provocado una serie de lesiones en la iglesia.



Imagen 1. La iglesia en el plano de Mancelli (1608), Tosca (1734) y en la actualidad
Image 1. The church on the plane of Mancelli (1608), Tosca (1734) and today

Introduction

The church of San Lorenzo de Valencia was one of the 10 mosques that King Jaime I ordered to consecrate and convert into Christian parishes when he conquered the city in 1238. As usual, next to the mosque there was a public bath and an oven to take advantage of the water pipes, so necessary in the three establishments. Since then he has undergone multiple interventions. Initially a Christian church was built probably using the structures of the Muslim mosque. In the 15th century it was expanded with the construction of a chapel ordered to be built by Nicolás Catalá de Valeriola on land belonging to the site of his noble house that was behind the church (Corbín, 1988: 114). Between 1681 and 1684 the primitive church was completely renovated in a comprehensive intervention promoted by the carpenters' union and carried out by the teachers Pedro Angost and Tomás Alepuz (ARV, Protocols de José Fuentes, 959). As a continuation of this initiative to give the church an image more in keeping with the times, José Minguez, an architect with extensive experience in the design of bell towers, is commissioned to build the bell tower. It was built between 1743 and 1746 with a hexagonal plan, unlike the square-plan towers that had been built up to now. In 1770 Antonio Gilabert, Vicente Gascó and José Bautista Minguez produced a report evaluating some cracks in arches and vaults (Bérchez, 1987: 78). Probably on this date you already began to have differential seating problems. In 1902 it became the property of the Franciscans, who built their convent next to the church, for which they demolished the chapel of the Virgin from the 15th century, leaving some dome of the side chapels incorporated into the convent's patio of lights. Between 1912 and 1913 the vault of the temple was intervened. The roof was completely renovated, replacing it with a new tile, with a lower slope and supported by iron braces. During the civil war (1936-39) the church and convent were expropriated from the Franciscans and were closed to the public. Once the war ended, the church was reopened again.

All these vicissitudes, as well as the characteristics of the terrain on which it sits next to the Turia riverbed, have caused a series of injuries to the church.

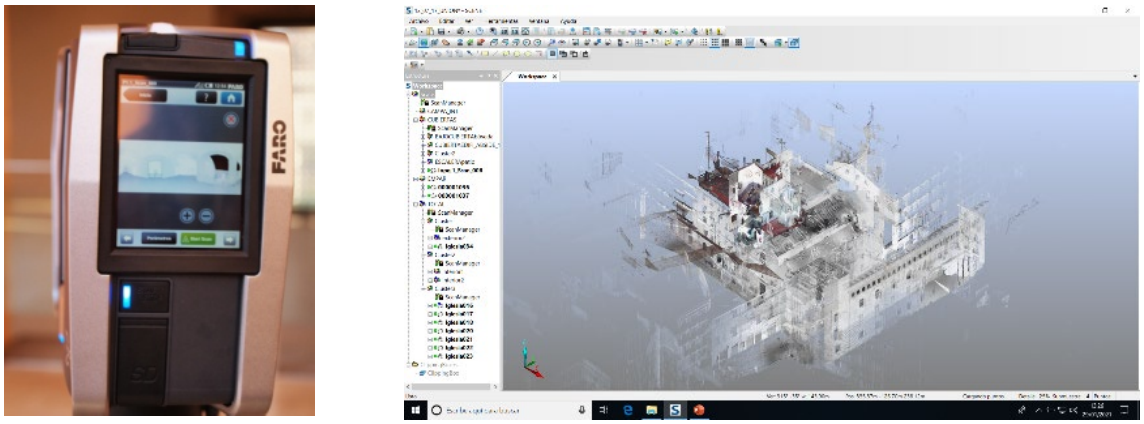


Imagen 2. El escáner Faro modelo Focus 130-3D y la nube de puntos tratada con el programa Scene de Faro
Image 2. The Faro scanner model Focus 130-3D and the point cloud treated with Faro's Scene program

Objectives and methodology

The objective of this study has been the preparation of an updated survey of plans on which the materiality of the building as well as the pathological manifestation could be verified. All this destined to the previous study of the temple since the planimetric survey is the most effective instrument for the knowledge and analysis of the architectural heritage (Almagro, 2019:24). For this, a massive data collection method has been used by means of a 3D laser scanner as it is the most accurate tool for mass data collection (Ramos et al., 2015:329). The Faro brand scanner, model Focus 3D-130, was used to detect the smallest deformations by analyzing the point clouds. Scene-19 software, also from the Faro brand, has been used to clean, register and join the clouds. This latest version is much more intuitive than the previous ones, and cloud registration and joining can be done much faster (López, Spallone y Vitali, 2020:874).

Este escáner tiene la ventaja de asignar el color real a cada punto extraído de las fotografías que realiza al finalizar el escaneado, lo cual da un mayor realismo a las nubes, que en algunos casos alcanzan cierta similitud con una imagen fotográfica. Para asegurar la ausencia de puntos ciegos y facilitar la unión automática de las nubes de puntos, se aseguró un solapamiento del 50% entre escaneados. Para ello se ubicó una estación en cada uno de los tramos de la nave central de la iglesia, Asimismo se hizo un escaneado en el centro de cada una de las capillas laterales.

Del mismo modo sistemático se actuó en la nave adosada. Se escaneó la cubierta, el espacio bajo-cubierta existente entre la cubierta y las bóvedas y el exterior con un total de 62 puntos de escaneo. En el interior de la iglesia se realizaron 5 agrupamientos, otro bajo cubierta y otro en la cubierta. En el exterior se realizaron 2 agrupamientos.



Imagen 3. Nube de puntos y ortofotos de la nube de puntos de la sección vertical y de la planta
Image 3. Point cloud and orthophotos of the point cloud of the vertical section and the plant

El objeto de estudio

La planta del templo actual se compone de una nave principal con capillas laterales en el lado de la epístola y otra nave secundaria o capilla de la Comunión, de menores dimensiones paralela a la principal, con capillas laterales en el lado del evangelio. Para la construcción de esta capilla de la Comunión en 1902 fue necesario derribar la capilla del siglo XV así como las capillas del lado del evangelio de la iglesia, convertidas de este modo en zonas de paso. La nave principal se compone de 5 crujías: la primera de ellas, situada a los pies de la iglesia, dispone de coro y bajo coro, también añadido en la reforma del s. XX; tres intermedias cubiertas con bóvedas tabicada de cañón y lunetos donde se albergan las ventanas que dan luz a la iglesia; y por último el ábside con cabecera plana cubierto también con bóveda de cañón de medio punto. Junto al ábside, en el lado de la epístola, se encuentra el campanario, es decir, en el lado opuesto de donde estuvo la torre gótica tal y como puede observarse en el plano de Mancelli de 1608. Sobre las capillas laterales del lado de la epístola se ubica un espacio que fue destinado a acoger a las denominadas “mujeres emparedadas” (Orellana, 1980:125) Son espacios a modo de celdas donde vivían en completa clausura.

La organización espacial de la nave principal se corresponde con la de la antigua iglesia gótica utilizándose los mismos cimientos y los contrafuertes entre capillas. La decoración se encuentra en sintonía con los gustos barrocos del s. XVII donde predomina la escenografía y la ampulosidad (Pingarrón, F. 1998: 238-243).

Las dos fachadas recayentes a la plaza de san Lorenzo y a la calle de los Franciscanos, son obra del arquitecto Javier Goerlich Lleó, quien en 1916, por encargo de la orden franciscana, diseñó una fachada ecléctica que difiere de las líneas estilísticas del interior. Sin embargo, las portadas de las dos fachadas que se contemplan en la actualidad fueron construidas en la reforma del XVII, inspiradas en las que existían en el desaparecido templo de San Bartolomé y mantenidas por Goerlich en su proyecto.



Imagen 4. A la izquierda planta de la iglesia con la evolución constructiva. A la derecha imagen del interior: nave principal
Image 4. On the left floor of the church with the construction evolution. Right image of the interior: main nave

This scanner has the advantage of assigning the real color to each point extracted from the photographs taken at the end of the scan, which gives greater realism to the clouds, which in some cases reach a certain similarity to a photographic image.To ensure the absence of blind spots and facilitate automatic stitching of point clouds, a 50% overlap was ensured between scans. For this, a station was located in each of the sections of the central nave of the church, and a scan was also made in the center of each of the side chapels.In the same systematic way it was acted in the attached ship. The roof, the under-roof space between the roof and the vaults and the exterior were scanned with a total of 62 scan points. Inside the church 5 groups were made, another under cover and another on the cover. 2 groupings were made abroad.

The object of study

The plan of the current temple is made up of a main nave with side chapels on the epistle side and another secondary nave or Communion chapel, smaller parallel to the main one, with side chapels on the gospel side. For the construction of the Communion Chapel in 1902 it was necessary to demolish the 15th century chapel as well as the chapels on the gospel side of the church, thus converted into passageways. The main nave is made up of 5 bays: the first, located at the foot of the church, has a choir and lower choir, also added in the reform of the s. XX; three intermediate ones covered with partitioned barrel vaults and lunettes where the windows that give light to the church are housed; and finally the apse with a flat head, also covered with a semicircular barrel vault. Next to the apse, on the side of the epistle, is the bell tower, that is, on the opposite side from where the Gothic tower stood, as can be seen in Mancelli's plan of 1608 (fig. 1). On the side chapels on the side of the epistle there is a space that was destined to house the so-called “walled women” (Orellana, 1980: 125). They are spaces like cells where they lived in complete enclosure. The spatial organization of the main nave corresponds to that of the old Gothic church, using the same foundations and the buttresses between chapels. The decoration is in tune with the baroque tastes of the s. XVII where the scenery and bombast predominate (Pingarrón, F. 1998: 238-243). The two facades facing the Plaza de San Lorenzo and Calle de los Franciscanos, are the work of the architect Javier Goerlich Lleó, who in 1916, commissioned by the Franciscan order, designed an eclectic facade that differs from the stylistic lines of the interior. However, the covers of the two facades that are contemplated today were built in the reform of the seventeenth, inspired by those that existed in the disappeared temple of San Bartolomé and maintained by Goerlich in his project.

Caracterización de los materiales

La iglesia está construida con ladrillo macizo, tanto los muros como los arcos y bóvedas. El mortero utilizado es de cal excepto en la bóveda de cañón donde el mortero es de yeso, así como en la cúpula. También las bóvedas sustentantes de la escalera interior del campanario están construidas en ladrillo con mortero de yeso.

La bóveda de cañón, construida durante la intervención del siglo XVII, está formada con ladrillo macizo de 30x15x5 y mortero de yeso. Tiene un grosor de 20 cm y el enlucido también es de yeso. Se trata de una bóveda tabicada de tres roscas como solían realizarse en este periodo (Marín, 2012:206)

La cubierta se construye en la intervención de 1912 con teja cerámica sobre estructura de vigas de madera y cerchas de acero. El piso superior está sustentado sobre vigas de madera. En el interior de la iglesia, el pavimento es de mármol blanco macael para la nave central, mármol de marquinia negra y blanco para las capillas laterales. Con la técnica de la marmolina (reproducción en yeso del mármol verde y de otros colores) se utiliza para la decoración de las pilastras, arcos y cornisas en toda la iglesia. Las puertas de acceso, así como las internas y el altar están hechas de madera.



Imagen 5. Izquierda: Arcos fajones y cerchas metálicas sustentando la cubierta. Derecha: vigas de madera sustentando el altillo
Image 5. Left: Fajon arches and metal trusses supporting the roof. Right: wooden beams supporting the loft



Imagen 6. Izquierda: Pavimento damerado en capillas y marmolina en pilastras y cornisa. Derecha: Bóvedas de la escalera del campanario construidas en ladrillo y mortero de yeso
Image 6. Left: Damery flooring in the chapels and marble in the decoration of pilasters and cornices. Right: Vaults of the bell tower staircase made of brick and plaster mortar

Manifestación patológica

Las principales lesiones se encuentran en la bóveda de cañón donde se aprecian grietas de dimensiones considerables. Estas grietas, paralelas a los arcos fajones, son de mayor tamaño en el tramo siguiente al ábside y disminuyen su grosor a medida que los tramos se van alejando. Asimismo, se ha podido comprobar mediante el análisis de las nubes de puntos y también mediante el uso de un nivel láser que los muros que circundan el ábside tienen un ligero pandeo e incluso el pavimento se encuentra algo inclinado. A ello hay que añadir la deformación sufrida por el primer arco fajón. Su forma original era de arco de medio punto y en la actualidad se asemeja más a un arco rebajado debido a la gran deformación sufrida. Todo ello evidencia un asiento diferencial.

Characterization of materials

The church is built with solid brick, both the walls and the arches and vaults. The mortar used is lime except in the barrel vault where the mortar is plaster, as well as in the dome. Also the supporting vaults of the interior staircase of the bell tower are built in brick with plaster mortar. The barrel vault, built during the intervention of the seventeenth century, is made of solid 30x15x5 brick and plaster mortar. It is 20 cm thick and the plaster is also made of plaster. It is a partitioned vault with three threads as they used to be made in this period (Marín, 2012:206)

The roof is built in the intervention of 1912 with ceramic tile on a structure of wooden beams and steel trusses. The upper floor is supported by wooden beams. Inside the church, the floor is made of white macael marble for the central nave, black marquinia marble and white for the side chapels. With the marble technique (reproduction in plaster of green marble and other colors) it is used to decorate the pilasters, arches and cornices throughout the church. The access doors, as well as the internal ones and the altar are made of wood.



Imagen 7. Izquierda: Grietas en la bóveda. Derecha: Humedades en el pasillo situado sobre las capillas laterales
Image 7. Left: Cracks in the vault. Right: Humidity in the corridor above the side chapels

Pathological manifestation

The main lesions are found in the barrel vault where there are considerable cracks. These cracks, parallel to the transverse arches, are larger in the section following the apse and decrease in thickness as the sections move further away. Likewise, it has been possible to verify through the analysis of the point clouds and also through the use of a laser level that the walls that surround the apse have a slight buckling and even the pavement is somewhat inclined. To this must be added the deformation suffered by the first fajon arch. Its original shape was of a semicircular arch and today it is more similar to a lowered arch due to the great deformation suffered. All of this shows a differential feeling.



Imagen 8. En rojo las deformaciones sufridas en la estructura
Image 8. In red the deformations suffered in the structure

Conclusiones

El asiento que sufre la iglesia se debe a diferentes causas: en primer lugar, debido a la deficiente capacidad portante del terreno con un nivel freático situado a 7 m.; en segundo lugar, hay que tener en cuenta una posible conducción de aguas de época medieval que crearía un vacío y la consecuente disminución de la resistencia del terreno; por último, el derribo de la antigua torre situada en el lado del evangelio del ábside y la construcción de un nuevo campanario en el lado de la epístola. Las humedades se encuentran localizadas en la parte inferior de la iglesia, en el lado de las capillas laterales, es decir, en la fachada recayente a la plaza de San Lorenzo. Se trata de humedades ascendentes por capilaridad. También existen humedades en las bóvedas que cubren las celdas situadas sobre las capillas de este mismo lado. En este caso se trata de humedades descendentes por filtración de agua de lluvia. Todas estas lesiones han sido grafiadas en los correspondientes planos convirtiendo la imagen en documento de análisis (Jimenez y Pinto, 203:101)



Imagen 9. Manifestación patológica en las bóvedas de la iglesia y del piso superior sobre las capillas
Image 9. Pathological manifestation in the vaults of the church and on the upper floor above the chapels



Imagen 10. Manifestación patológica en los alzados
Image 10. Pathological manifestation in the elevations

Conclusions

The settlement suffered by the church is due to different causes: firstly, due to the deficient bearing capacity of the land with a water table located at 7 m .; secondly, it is necessary to take into account a possible conduction of water from medieval times that would create a vacuum and the consequent decrease in the resistance of the ground; finally, the demolition of the old tower located on the gospel side of the apse and the construction of a new bell tower on the epistle side. The humidities are located in the lower part of the church, on the side of the side chapels, that is, on the façade facing the Plaza de San Lorenzo. It is about ascending humidity by capillarity. There are also dampness in the vaults that cover the cells located above the chapels on this same side. In this case it is a question of descending humidities due to the filtration of rainwater. All these lesions have been graphed in the corresponding planes, converting the image into an analysis document (Jimenez y Pinto, 2003:101)

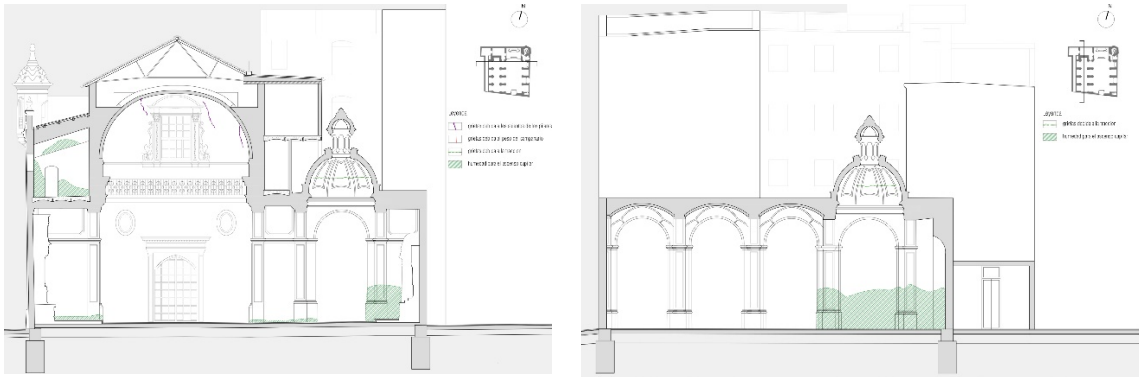


Imagen 11. Manifestación patológica en los muros interiores
Image 11. Pathological manifestation in the interior walls



Imagen 12. Manifestación patológica en los muros interiores
Image 12. Pathological manifestation in the interior walls

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Almagro, A. 2019. Medio siglo documentando el patrimonio arquitectónico con fotogrametría. *EGE, Revista de Expresión Gráfica en la Edificación* 11 (4-30)
- Bérchez, J. 1987. *Los comienzos de la arquitectura académica en Valencia: Antonio Gilabert*. Valencia: Federico Doménech Ed.
- Corbín Ferrer, J. L. 1988. *Valencia histórica: entre El Salvador y Serranos.* Valencia: Federico Doménech Ed.
- Jimenez, A. y Pinto F. 2003. *Levantamiento y análisis de edificios. Tradición y futuro*. Sevilla: Universidad de Sevilla
- López, C., Spallone, R., Vitali, M., Natta, F. 2020. Baroque banded vaults: surveying and modeling. The case study of a noble palace in Turin. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* Volume XLIII-B2-2020, 2020 XXIV ISPRS Congress (871-878)
- Marín-Sánchez, R. 2012. Abovedamientos tabicados en las transformaciones interiores de las iglesias valencianas de finales del siglo XVII. *Construyendo bóvedas tabicadas.* Valencia:Universitat Politècnica de València (205-223)
- Orellana, M. A. de. 1980. *Tratado histórico-apologético de las mugeres emparedadas*. Valencia: Biblioteca Valenciana, Librerías París-Valencia. Edición facsímil de la edición de Valencia: Imp. de la Casa de Beneficencia. 1887.
- Pingarrón, F. 1998. *La arquitectura religiosa del siglo XVII en Valencia*. Valencia: Ayuntamiento de Valencia
- Ramos, L., Marchamalo, M., Rejas, J. G., Martínez, R. 2015. Aplicación del Láser Escáner Terrestre (TLS) a la modelización de estructuras: precisión, exactitud y diseño de la adquisición de datos en casos reales. *Informes de la Construcción*, 67 (538): e074, doi: http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.103

EL JUST IN TIME DE ADISTRAMIENTO EN LA INDUSTRIA ESTRATEGICA, CRITICA Y/O SENSIBLE

JUST-IN-TIME TRAINING IN THE INDUSTRY STRATEGIC, CRITICAL AND/OR SENSITIVE

José-Antonio Cárcel-Carrasco
Ph D. Student por la Universitat Politècnica de València. Forma parte de la empresa Tecnatom S.A. en el campo de ingeniería nuclear y sistemas tecnológicos de reactores nucleares. Email: jacarcel@tecnatom.es

Juan-Manuel Sanchez-Rodriguez
Ph D. por la Universitat Politècnica de València Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Formando parte de la empresa Tecnológicas Eléctricas Sanes S.L. en el ámbito de la línea de Ingeniería Industrial. juasanro@gmail.com

Javier Cárcel-Carrasco
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Email: fracarc1@csa.upv.es

Abstract

The implementation of JIT as opposed to the traditional approach requires a radical change in the performance of the tasks, which must be achieved by carrying out a cultural change oriented towards continuous improvement linked to the quality and efficiency of the industrial process, although it can be extrapolated to different branches of processes. So the application of this JIT approach requires a general commitment of all staff involved in the activity that takes place in the industry in question, if the commitment is not aligned with the management in the medium to long term the strategy of the JIT approach will not be possible to implement this process correctly, that is, this approach is not achieved quickly but requires a constant and continuous effort of the entire organization.

Keywords

Just in time, strategic industry, critical industry, sensitive industry, continuous improvement, personnel training in industry.

Introduction

La filosofía de Just In Time (más conocido en su acrónimo JIT en inglés o Justo a tiempo en su traducción en español) para el entrenamiento se postula para realizar lo esencialmente necesario para desarrollar una tarea o trabajo y en el momento necesario.

Es por ello la necesidad de realizar en nuestra sociedad competitiva la implementación de esta herramienta cada vez es más sectores.

La implementación de JIT frente al enfoque tradicional requiere un cambio radical en la realización de las tareas, el cual se debe lograr mediante la realización de un cambio cultural orientada en la mejora continua ligada a la calidad y eficiencia del proceso industrial aunque se puede extrapolar a diferentes ramas de procesos. Con lo que la aplicación de este enfoque JIT requiere un compromiso general de todo el personal que participan en la actividad que se realiza en la industria en cuestión, si el compromiso no está alineado con la gerencia en medio largo plazo la estrategia del enfoque JIT no será posible la implementación correcta de este proceso, es decir, que este enfoque no se consigue rápidamente sino que requiere un esfuerzo constante y continuo de toda la organización.

Este cambio de enfoque requiere de privarse de todo aquello que no sea necesario o que produzca ineficiencia en el proceso, todo aquello que no agregue valor al producto final. A esto se le conoce como desperdicio.

La adaptabilidad del enfoque JIT requiere la implementación de seis (6) etapas:

1. *Estructuración.*

En esta primera etapa se debe de involucrar todos los departamentos organizativos de la empresa, desde operación, producción, mantenimiento, calidad, fonación. Ingeniería, dirección para transmitir las necesidades adecuadas para implementar este nuevo enfoque, estructurando todas las actividades de la empresa en un trabajo de equipo.

2. *Adiestramiento.*

El adiestramiento en uno de los pilares básicos de las industrias, todos las personas que formen el organigrama de la empresa debe de estar alineado con un objetivo común. Es por ello que todos deben de recibir adiestramiento y formación para conseguir la capacitación adecuada al puesto de trabajo que desempeña. Es por ello que la formación inicial y continua en las industrias es necesario, también se debe aplicar el JIT en el adiestramiento, en los próximos puntos extenderemos más motivos.

3. *Puntuación.*

Se debe de puntuar la necesidad de cuáles son los objetivos principales y estratégicos de la empresa es necesario la implementación o refuerzo del enfoque JIT, ya que en diferentes organizaciones existen diferentes departamentos, los cuales no llevan el mismo ritmo o carga de trabajo

4. *Planificación.*

Una de las etapas clave de este enfoque, los responsables deben de tener un alto compromiso en la aplicación de la estrategia a seguir. Reforzando en los programas formativos para fortalecer el nuevo enfoque, obtener una planificación en medio y largo plazo hará la involucración de todos los departamentos.

5. *Realización.*

Una vez realizado todas las etapas previas hay que realizar esta implementación, el refuerzo y la tenacidad de la dirección hará efecto contagio a todos los trabajadores de la empresa.

6. *Verificación.*

En esta fase tenemos que valorar los puntos fuertes y débiles de la nueva implementación, se debe de realizar verificaciones operativas, productivas, así como entrevistas personales o encuestas para conocer el estado real. El conocimiento del estado real y la no ocultación de los posibles problemas harán cada vez más fuerte el JIT.

Introduction:

The philosophy of Just In Time (better known in its acronym JIT in English or Just in Time in its translation in Spanish) for training is to do what is essentially necessary to develop a task or work and at the right time.

That is why the need to implement this tool in our competitive society is increasingly more sectors.

The implementation of JIT as opposed to the traditional approach requires a radical change in the performance of the tasks, which must be achieved by carrying out a cultural change oriented towards continuous improvement linked to the quality and efficiency of the industrial process, although it can be extrapolated to different branches of processes. So the application of this JIT approach requires a general commitment of all staff involved in the activity that takes place in the industry in question, if the commitment is not aligned with the management in the medium to long term the strategy of the JIT approach will not be possible to implement this process correctly, that is, this approach is not achieved quickly but requires a constant and continuous effort of the entire organization.

This change of approach requires depriving oneself of everything that is not necessary or that produces inefficiency in the process, everything that does not add value to the final product. This is known as waste.

The adaptability of the JIT approach requires the implementation of six (6) stages:

1.Structuring.
In this first stage, all the organizational departments of the company must be involved, from operation, production, maintenance, quality, and sound. Engineering, management to transmit the adequate needs to implement this new approach, structuring all the activities of the company in a team work.

2.Training.
Training in one of the basic pillars of the industries, all the people that form the organization chart of the company must be aligned with a common objective. That is why everyone should receive training and education to achieve the appropriate training for the job they perform. That is why the initial and continuous training in the industries is necessary, also the JIT must be applied in the training, in the next points we will extend more reasons.

3.Score.
It should be pointed out that the implementation or reinforcement of the JIT approach is necessary for the main and strategic objectives of the company, since in different organizations there are different departments, which do not have the same pace or workload

4.Planning.
One of the key steps in this approach is a high level of commitment from those responsible for implementing the strategy. Reinforcing the training programs to strengthen the new approach, obtaining medium and long term planning will involve all departments.

5.Accomplishment.
Once all the previous stages have been completed, this implementation must be carried out. The reinforcement and tenacity of the management will have an effect on all the company's workers.

6.Verification.
In this phase we have to assess the strengths and weaknesses of the new implementation, operational and production checks as well as personal interviews or surveys should be carried out to find out the actual status. Knowing the actual status and not hiding possible problems will make the JIT stronger and stronger.

Las principales ventajas del JIT frente al enfoque Tradicional son claramente varias:

Las ventajas del JIT:

- Reduce significamente los tiempos de muertos, solo se realiza lo que realmente es necesario en ese momento.
- Aumenta la eficiencia de la seguridad en la industria.
- Es un sistema más flexible que se adapta a los tiempos y a las necesidades de entrenamiento de la industria.
- Minimiza posibles pérdidas o accidentes.

METODOLOGIA

Realizar mejoras a través de los procesos en toda una industria, pero claro, muchas veces se ha estudiado el JIT para el análisis y mejora de procesos de cadenas de suministros, pero no solo afecta en el área de manufactura sino que en realidad se puede aplicar en todas las diferentes áreas o departamentos. ¿Pero se ajustará en JIT en el adiestramiento? En un proceso industrial siempre es necesario la formación inicial y continua, pero para conseguir los altos niveles de calidad, eficiencia y mejora continua necesita una implementación de un cambio de diferentes procesos, es por ello que el JIT se aplica en adiestramiento para subsanar incidencias operativas y productivas.

El desarrollo de esta aplicación se basa principalmente en cuatro pilares fundamentales.

1.-Enfrentarse a los problemas más fundamentales.
2.-Discriminar trabajos innecesarios.
3.-Conseguir la simplicidad.
4.-Diseñar herramientas para identificar las debilidades, tanto operativas como administrativas, para obtener e implementar nuevos sistemas de control.

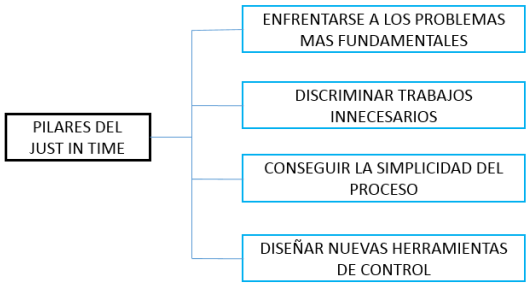


Imagen 1. Pilares del Just in Time para su desarrollo.

1.- Enfrentarse a los problemas más fundamentales.

Este punto se refiere a enfrentarse los problemas o causas más fundamentales que pueden aparecer, resolviéndolos sin ocultarlo, reconocer un hándicap es un ventaja competitiva.

En el proceso de entrenamiento en la industria se conoce como un entrenamiento efectivo y en el momento de una actividad asociada al trabajo. Es por ello que se deben de identificadas lo más rápidamente posible.

Así que lo primero de todo será la identificación de la falta del entrenamiento del personal del proceso industrial. El hecho de identificar las dificultades no garantiza que se resuelvan por sí solo, sino, que nos dará las premisas para poder solucionar el problema.

2.- Discriminar trabajos innecesarios.

Eliminar activamente los “Desperdicios” (en más conocido en sus palabra inglesa Waste) para suprimir todas las actividades que no den un valor añadido al producto como por ejemplo tiempo, material, en general recursos, es necesario para su reducción de costo, mejora continua, calidad, seguridad de la industria. Sino centramos en el adiestramiento observamos que no siempre se consigue los estandartes de calidad de formación, no se focaliza el entrenamiento continuo como un recurso productos, es por ello que el JIT se centra en la eficiencia de los recursos para el entrenamiento y compaginado con la formación continua hacen que el personal este siempre en una mejora continua.

The main advantages of JIT over the traditional approach are clearly several:

The advantages of JIT:
- Significantly reduces downtime, only what is really necessary at the time is performed.
- It increases the efficiency of security in the industry.
- It is a more flexible system that adapts to the time and training needs of the industry.
- Minimizes possible losses or accidents.

METHODOLOGY

Making improvements through processes in an entire industry, but of course, many times JIT has been studied for the analysis and improvement of supply chain processes, but it does not only affect the manufacturing area but it can actually be applied in all the different areas or departments. But will it adjust to JIT in training? In an industrial process is always necessary initial and continuous training, but to achieve high levels of quality, efficiency and continuous improvement needs an implementation of a change of different processes, which is why the JIT is applied in training to correct operational and productive incidents.

The development of this application is based mainly on four fundamental pillars.

1.- To face the most fundamental problems.
2.- To discriminate unnecessary work.
3.- To achieve simplicity.
4.- To design tools to identify the weaknesses, both operational and administrative, to obtain and implement new control systems.

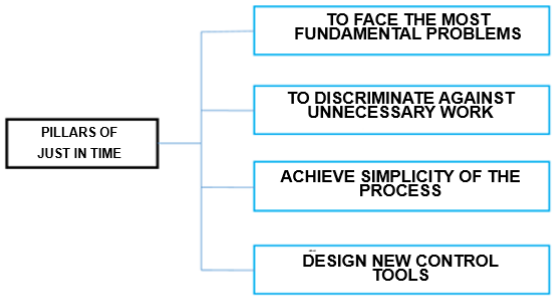


Figure 1. Pillars of Just in Time for its development.

1. - Facing the most fundamental problems.

This point refers to facing the most fundamental problems or causes that may appear, solving them without hiding them, recognizing a handicap is a competitive advantage.

In the process of training in the industry it is known as effective training and at the time of an activity associated with work. That is why they must be identified as quickly as possible.

So first of all will be the identification of the lack of training of the industrial process personnel. The fact of identifying the difficulties does not guarantee that they will be solved by itself, but, that it will give us the premises to be able to solve the problem.

2. - Discriminate unnecessary work.

Actively eliminate the "Waste" (in more known in its English word Waste) to suppress all activities that do not give an added value to the product as for example time, material, in general resources, is necessary for its cost reduction, continuous improvement, quality, security of the industry. If we do not focus on training we observe that not always the standards of quality training is achieved, not focused on continuous training as a resource products, that is why the JIT focuses on the efficiency of resources for training and combined with continuous training make the staff is always in a continuous improvement.

3.- Conseguir la simplicidad.

Sencillo, muchas veces nos damos cuenta que los trabajos más sencillos se han tediosos, quizás por la carga burocrática, la gestión administrativa, la reunión bidireccionales entre diferentes departamentos. La aplicación de JIT es buscar la sencillez, lo que realmente funciona, una medida sería evitar rutas complejas y realzar las líneas unidireccionales

4.- Diseñar herramientas para identificar las debilidades, tanto operativas como administrativas, para obtener e implementar nuevos sistemas de control.

Las normas que se consideran tener en un enfoque JIT es disponer de flujos sencillos y rápidos, para ello debes de realizar una inversión tecnológica para tener la trazabilidad en tu industria. Esta inversión te descubrirá aquellas tareas que no ofrecen valor añadido al producto final.

APLICACIÓN DEL JIT EN EL ADIESTRAMIENTO.

Entrenamiento Justo a Tiempo (JIT): Se refiere al entrenamiento planeado o emergente realizado para preparar a un individuo o equipo de trabajo para realizar una tarea próxima de forma segura y eficiente o para corregir rápidamente una deficiencia de rendimiento.

En el adiestramiento la periodicidad del entrenamiento continuo puede establecerse como un marco temporal específico (por ejemplo, cada 12 o 24 meses, una vez cada 4 años, etc.) o como entrenamiento sólo a tiempo (JIT). Como se puede observar en la imagen 2 podemos ver que la gráfica es de sierra debido a que el la variable t es la periodicidad que la empresa ha decido realizar la formación, y como se puede observar, si hubiese una modificación durante ese periodo no se podría entrenar a los operarios hasta el siguiente periodo "t" Como se puede observar existen muchas industrias de carácter sensible, estratégico o critico las cuales no sería lógico retrasar el funcionamiento de la actividad por que los profesionales de la industria tienen no disponen de conocimientos de un cambio de equipo o cambio operacional.

Durante la aplicación de un cambio estructural en la industria, el departamento de mantenimiento o Departamento de Operación se deben de alinear con el departamento de Formación para realizar el análisis propio de esos cambios, por si fuese necesario aplicar el JIT o incluirse en la formación continua. Es por ello el uso de diagramas de pasos para incluir o no en esta decisión.

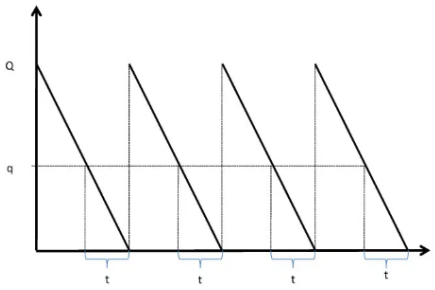


Imagen 2. Periodicidad con contaste de tiempo.

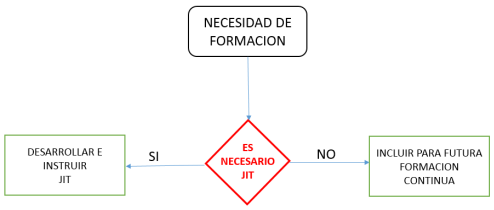


Imagen 3.Arbol de decisión.

El entrenamiento "Just In Time" se utiliza típicamente para el trabajo previo a la salida o para tareas emergentes. Es por ello que durante la planificación del adiestramiento para el personal de la industria debemos de realízanos preguntas en nuestro diagrama, ya que existen actividades que no pueden realizarse en la formación continua que la instalación tiene preparado.

Disponemos de una entrada de Entrenamiento, es muy importante el primer paso que nos indica, si esta formación es un JIT, Just in time Training, donde la formación es necesaria inmediatamente, debido que esta formación estará vincula a un equipo o componente crítico de la instalación donde el desconocimiento de este equipo o modificación de cambio de diseño puede implicar un trabajo no seguro en la instalación, es por ello que si es un JIT se tendrá que ir directamente a la fase de desarrollo (véase ese imagen 04)

En el caso de las tareas que se realizan con poca frecuencia, las que se realizan sólo en caso de interrupción del servicio o las especializadas que se ha determinado que requieren capacitación continua, se puede especificar la capacitación justo a tiempo (JIT) en lugar de una periodicidad específica.

3. - Achieving simplicity.

Simple, many times we realize that the simplest jobs have become tedious, perhaps because of the bureaucratic burden, administrative management, the two-way meeting between different departments. The application of JIT is to seek simplicity, what really works, a measure would be to avoid complex routes and enhance the unidirectional lines

4. - Design tools to identify weaknesses, both operational and administrative, to obtain and implement new control systems.

The rules that are considered to have in a JIT approach is to have simple and fast flows, for this you must make a technological investment to have the traceability in your industry. This investment will discover those tasks that do not offer added value to the final product.

APPLICATION OF JIT IN TRAINING

Just in Time Training (JIT): It refers to the planned or emergent training done to prepare an individual or team to perform an upcoming task in a safe and efficient way or to quickly correct a performance deficiency.

In training, the periodicity of continuous training can be set as a specific time frame (e.g., every 12 or 24 months, once every 4 years, etc.) or as just-in-time training (JIT). As can be seen in diagram 01 we can see that the graph is a saw because the variable t is the periodicity that the company has decided to make the training, and as can be seen, if there was a change during that period could not train operators until the next period "t" As can be seen there are many industries of sensitive, strategic or critical which would not be logical to delay the operation of the activity because industry professionals have no knowledge of a change of team or operational change.

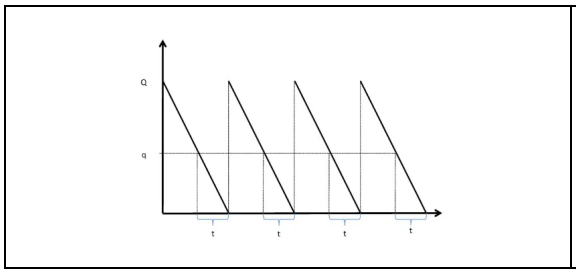


Figure 2. Time-counted periodicity.

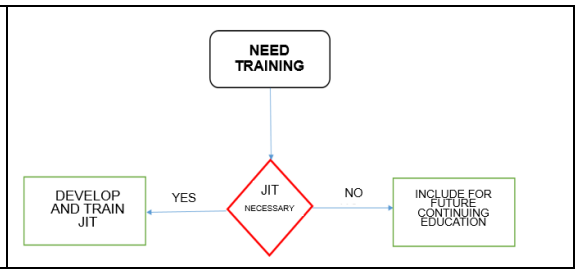


Figure 3. Decision tree.

During the implementation of a structural change in the industry, the maintenance department or operation department should be aligned with the training department to perform the analysis of these changes, in case it is necessary to apply the JIT or to include in the continuous training. That is why the use of step diagrams to include or not in this decision.

Just in Time" training is typically used for pre-departure work or for emergent tasks. Therefore, when planning training for industry personnel, we must ask questions in our diagram, as there are activities that cannot be done in the ongoing training that the facility has prepared. We have a training entry, it is very important the first step that tells us, if this training is a JIT, Just in time Training, where training is needed immediately, because this training will be linked to a critical equipment or component of the facility where the lack of knowledge of this equipment or design change modification may involve an unsafe work in the facility, that is why if it is a JIT will have to go directly to the development phase (see that figure 04)For tasks that are performed infrequently, those that are performed only in case of service interruption, or specialized tasks that have been determined to require ongoing training, just-in-time training (JIT) can be specified instead of a specific periodicity.

¿Pero qué ocurre si se implementa unos cambios operativos en la industrio y el proceso de la formación continua se realizará cada 12 meses, tendremos que esperar para poner adiestrar al personal de los cambios que ha habido?

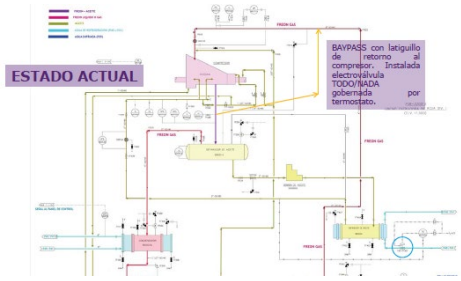


Imagen 4.Ejemplo de las modificaciones de sistemas en Instalaciones.

En este caso particular, después de una avería se implementa modificaciones de un sistema operativo donde todo el personal que debe operar o manejar en primera persona los nuevos cambios no puede esperar a recibir esa formación continua, en estos momentos se le aplica la formación JIT personalizada esos cambios.

Esta formación debe ser clara directa y si puede ser práctica, dando lugar a aumentar los conocimientos para poder manejar estos cambios.

Durante esta formación, siempre ira reglada con hojas de asistencias, el cual firmaran cada una de las personas que reciben esa JIT y además se realizará una evaluación cuantitativa del resultado a realizar. Una vez conseguido esa titulación se tendrá que realizar constantes evaluaciones de calidad y tener un seguimiento estrecho en las actuaciones que se puedan realizar en este sistema, consiguiendo así descubrir los posibles.

CÓMO IMPLEMENTAR JUST IN TIME (JIT) DE ADIESTRAMIENTO EN LA INDUSTRIA.

La implementación del sistema JIT de adiestramiento debe ser parte de la planificación estratégica de la industria, apostando por la implementación a medio o largo plazo de las necesidades emergentes que vayan surgiendo en la industria, cambios de equipos de operación, modificación de la línea de producción, cambios de diseño considerables, donde el trabajo se modifica ante estos cambios, en esos momentos es la necesidad de implementar el JIT de adiestramiento para el personal que realiza esos trabajos en primera etapa y a continuación incluirlo como fase de formación continua a todos los trabajadores de esa industria. Siempre estos estas modificaciones se debe adaptar a los requisitos necesarios bajo un control y evaluación constante

Para liderar estas enfoque de trabajo basado en JIT deben de tener el compromiso de la directiva y los trabajadores, se debe de tener una relación estrecha con las empresas proveedoras del producto a modificar y los trabajadores deben ser disciplinados a la hora de conseguir la mejora continua.

Si las empresas de las industrias quieren realizar una implementación de este enfoque JIT lo primero de todo es ser conocedor que los resultados de este enfoque no son a corto plazo, ya que requiere la sinfonía correcta de todos los departamentos involucrados, ya que no puede ser nada fácil. Por otra parte deberán de realizar un Proyecto piloto liderada por unos requisitos necesarios para su implementación, como ser un componente o gestión conocida, no se recomienda utilizar un componente o proceso desconocido.

Una vez seleccionado el componente o proceso debemos de saber que tiene debilidades y que necesitamos mejorar o implementar un cambio. Con todo esto podemos reducir los riesgos directos o indirectos de un fallo en la implementación de este enfoque.

Por tanto no se deben hacer falsas expectativas esperando resultados a corto plazo.

But what happens if operational changes are implemented in the industry and the process of continuous training will take place every 12 months, will we have to wait to train the staff on the changes that have taken place?

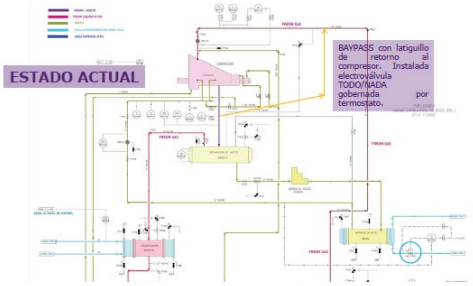


Figure 4. Practice of system modifications in installations.

In this particular case, after a breakdown, modifications of an operating system are implemented where all the personnel who must operate or handle the new changes in first person cannot wait to receive that continuous training. At this time, personalized JIT training is applied to these changes.

This training must be clear and direct and if possible be practical, resulting in increased knowledge to manage these changes.

During this training, it will always be regulated with attendance sheets, which will be signed by each of the people who receive this JIT and also a quantitative evaluation of the result will be made. Once this qualification is achieved, it will be necessary to carry out constant quality evaluations and to have a close follow-up in the actions that can be carried out in this system, thus managing to discover the possible

HOW TO IMPLEMENT JUST IN TIME (JIT) TRAINING IN THE INDUSTRY

The implementation of the JIT training system should be part of the strategic planning of the industry, betting on the implementation in the medium or long term of emerging needs that arise in the industry, changes in operating equipment, modification of the production line, significant design changes, where the work is modified to these changes, at that time is the need to implement the JIT training for personnel who perform these jobs in the first stage and then include it as a phase of continuous training to all workers in that industry. Always these modifications must be adapted to the necessary requirements under constant control and evaluation

To lead these JIT-based work approaches, management and workers must be committed, there must be a close relationship with the companies supplying the product to be modified, and workers must be disciplined in achieving continuous improvement.

If companies in the industries want to implement this JIT approach the first thing to do is to be aware that the results of this approach are not short term, as it requires the right symphony of all departments involved, as it cannot be easy. On the other hand, they should carry out a pilot project led by some necessary requirements for its implementation, such as a known component or management, it is not recommended to use an unknown component or process.

Once the component or process has been selected, we must know that it has weaknesses and that we need to improve or implement a change. With all this we can reduce the direct or indirect risks of a failure in the implementation of this approach.

Therefore, we should not make false expectations by expecting short-term results.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- M. Pallarès-Barberà. El sistema de producción flexible, el just-in-time y la transformación espacial: Las empresas del automóvil en España. Boletin A.G.E. num. 24 -1997 pag. 53-71
- Castellano Lendínez, Laura. METODOLOGÍA PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS. 3C Tecnologia. mar-jun2019, vol. 8 Edición 1, p30-40. 10p
- Albizu Gallastegui, Eneka. LA PRODUCCION FLEXIBLE: JUST IN TIME VERSUS ORGANIZACIÓN CIENTIFICA DEL TRABAJO. Revista de Dirección y Administración de Empresas = Enpresen Zuzendaritza eta Administrazio Aldizkaria (4) : 101-117 (1996)
- KNOWLEDGE AND ABILITIES CATALOS FOR NUCLEAR POWER PLANT OPERATORS. Nureg 2014
- PRINCIPLES OF TRAINING SYSTEM DEVELOPMENT MANUAL. General Distribution, September 1993 Academic Document 85-006
- PRINCIPLES OF TRAINING SYSTEM DEVELOPMENT SUPPLEMENT. General Distribution, September 1993 Academic Document 85-006 (Supplement)
- Cárcel, J. (2010). Aspectos estratégicos del mantenimiento industrial relativos a la eficiencia energética, Articulo 1er Congreso de dirección de operaciones en la empresa, 25 y 26 de Junio, Madrid 2010.
- Olarte, W., Botero, M., & Cañón, B. (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria.Scientia Et Technica,2(45), 223-226.

ФУНДАМЕНТИ ВІТРОДВИГУНІВ, ЩО СПРИЙМАЮТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНІ І КРУТИЛЬНІ НАВАНТАЖЕННЯ

FOUNDATIONS OF WIND TURBINES, WITHSTANDING HORIZONTAL AND TORSIONAL LOADS

Gennadiy Plahotny
Кафедра архітектурних конструкцій; Одеська державна академія будівництва та архітектури; Дідріхсона, 4, 65029, Одеса, Україна
к.т.н., доцент кафедри
Departament of Architectural Structures; Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture; Didrihsona 4, 65029, Odesa, Ukraine
Accosiate Professor, PhD

Olena Chernieva
Кафедра залізобетонних конструкцій та транспортних споруд; Одеська державна академія будівництва та архітектури; Дідріхсона 4, 65029, Україна
к.т.н., доцент. E-mail: spring.cherneva@gmail.com
Department. of Reinforced concrete structures and transport facilities; Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture; Didrihsona, 4, 65029, Odesa, Ukraine
Accosiate Professor, PhD, E-mail: spring.cherneva@gmail.com

Lilia Chorna
Кафедра архітектурних конструкцій; Одеська державна академія будівництва та архітектури; Дідріхсона, 4, 65029, Одеса, Україна
к.т.н., доцент кафедри. E-mail: lilichorna24@gmail.com
Departament of Architectural Structures; Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture; Didrihsona 4, 65029, Odesa, Ukraine
Accosiate Professor, PhD, E-mail: lilichorna24@gmail.com

Abstract

In the scientific notes the variants of foundations for wind engines of different capacity and height, able to withstand considerable horizontal and torsional loads, are stated. Wind power plants for homes have been widely used on country plots and other sites that are remote from the main power grid. The height of the mast is 4-6m with a wind speed of 2.5 to 35m/s. The wind direction is determined by the side from which it blows. Meteorologocal data about wind direction is laid out in the form of a wind rose, which indicates its average speed in different directions.

Structurally, installations can be mono-wind (blades are located in the mast alignment) and multi-wind (blades or their complex are located perpendicular to the mast direction). Structurally, the mast can be one-piece tubular. At higher heights, lattice-space masts with strakes are used.

The underground part of the structure should provide stability. The loads which affect the foundations are as follows: permanent (its own weight, vertical load), temporary, temperature, and seismic.

Monolithic columnar slab foundations, piles made of pyramidal or batter piles, self-closing when driven, and drill-combined foundations can be used.

Keywords

Wind turbine, mast, tubular masts, lattice masts, foundations monolithic columnar plate foundations, pyramidal or batter pile foundations, drill-combined foundations.

Вступ

Споруди вітродвигунів сприймають значні горизонтальні і крутильні навантаження.

Причиною виникнення вітрів є поглинання земною атмосферою сонячного випромінювання, що призводить до розпарення повітря і появи конвекторних течій. Метеодані про напрям вітру відображають у вигляді троянди вітрів, що вказує на його середню швидкість в різних напрямках.

Застосування вітродвигунів поширюється для будинків і заміських ділянок, які віддалені від основних електричних мереж. Різноманітність вітродвигунів дозволяє застосовувати їх при різному розташуванні робочих лопатей. Моновітродвигуни мають 2-3 робочих лопаті, які знаходяться в стовбурі щогли, полівітродвигуни застосовуються з перпендикулярним розташуванням лопатей по відношенню до робочої щоглі.

Висота щогли буває 4-6м зі швидкістю вітру 2.5-35м/с. Конструктивно щогли можуть бути трубчастого і ґратчастого просторового перетину. При необхідності щогли додатково підсилюють відтяжками (рис.1), особливо при верхньому розташуванні генератора.

Особливістю горизонтального розташування робочих лопатей є можливість різного напрямку вітру. Крутильні навантаження при цьому можуть мати різнознакові напрямки. Подібні навантаження передаються через щоглу на підземну частину споруди.

У будівельній практиці застосовуються різні конструкції фундаментів. На їхню спільну роботу з основою впливають особливості фізико-механічних характеристик ґрунтів (щільність складання сухого ґрунту, вологість, тертя і ін).

Ґрунти можуть бути як в природному стані, так і ущільнені при забиванні паль і зануренні окремих елементів.

Аналіз попередніх досліджень

У літературі широко обговорювались питання проектування башт вітрогенераторів з точки зору параметрів фундаменту. Для визначення параметрів фундаменту запропоновано аналітичний, а також новий експериментальний підхід (Adhikari 2012).

Ерік Нім (Nim 2007) запропонував і запатентував новий плавучий фундамент для вітрогенераторів, де фундамент, по суті, складається щонайменше з трьох занурених тіл плавучості, з'єднаних з нижнім кінцем башти вітрогенератора у спільному вузлі, розташованому далеко над поверхнею моря. Завдяки конструкції фундаменту, у відповідності до цього винаходу, зменшуються концентрації напружень і моменти в елементі вузла, завдяки чому стає можливим застосовування відносно легкого і, отже, дешевого вузла.

Чисельні та експериментальні дослідження поведінки при короткочасному та довгостроковому циклічному навантаженні пальових фундаментів для морських вітрогенераторів обговорював Куеллар (Cuéllar 2011) у своїй дисертації. Свенссон (Svensson 2010) досліджував основи наземних вітрогенераторів, де досліджується як більш конвенціональний метод з великою бетонною плитою, так і альтернативні методи фундаменту, переважно пальові фундаменти. Бірн та Хаулсбі (Byrne 2003) досліджували проблеми цивільного будівництва, що виникають у морських вітрогенераторах, та вивчали недоліки сучасних підходів до проектування. Рукопис Домініка Роддіє та інших (Roddier 2010) узагальнює техніко-економічне обґрунтування, проведене для технології WindFloat.

Ще один новий тип пальового фундаменту був розроблений Самоксваловим (Samoxvalov 2017). Статичні дослідження палі, що мають на своєму кінці розширення у вигляді мембранної чашки, показали, що контрольоване розширення на кінці палі в середньому викликає двократне збільшення несучої здатності масиву ґрунту в районі розширення. Пронозін (Pronozin 2018) також вивчав конструкцію буроін’єкційних паль, виготовлених за технологією чашки, з нагнітанням розчину в режимі утворення "гідравлічних руйнувань" з утворенням контрольованого розширення в кінці палі.

Introduction

Wind turbine structures are able to withstand significant horizontal and torsional loads.

Winds are caused by the absorption of solar radiation by the Earth's atmosphere, which leads to steaming of air and appearance of convective currents. Meteorological data about wind direction is set out in the form of a wind rose, which indicates its average speed in different directions.

The use of wind turbines extends to homes and suburban areas that are remote from the main power grid. The variety of wind turbines allows them to be used with different blade arrangements. Mono-wind turbines have 2-3 working blades, which are located in the mast working, and poly-wind turbines are used with perpendicular arrangement of the blades in relation to the working mast.

A mast height is 4-6m with a wind speed of 2.5-35m/sec. Structurally, masts can be of tubular and lattice spatial cross-section. If necessary, masts are further strengthened by guy ropes (image 1), especially when the generator is located at the top.

The main feature of the horizontal arrangement of the working blades is the possibility of perceiving different wind direction. Torsional loads can have different directions, such loads are transferred via the mast to the underground part of the structure.

In construction practice, various designs of foundations are used. The peculiarities of physical and mechanical characteristics of soils (density of dry soil, moisture, friction, etc.) affect their joint work with the foundation.

Soils can be both in their natural state and compacted when piles are driven and individual elements are submerged.

Analysis of previous researchers

In the literature design issues of wind turbine towers from the point of view of the foundation parameters were widely discussed. Analytical as well as a new experimental approach has been proposed (Adhikari 2012) to determine the parameters for the foundation.

Erik Nim (Nim 2007) proposed and patented a new disclosed floating foundation for wind turbines, where the foundation essentially comprises at least three submerged buoyancy bodies connected to the lower end of the tower of the wind turbine at a common node member situated well above the surface of the sea. By applying the foundation according to the present invention, stress concentrations and torques in the node member are reduced, whereby it becomes possible to apply a relatively lightweight and hence cheap node member.

Numerical and experimental investigations on the behaviour under short-term and long-term cyclic loading of pile foundations for offshore wind turbines were discussed by Cuéllar (Cuéllar 2011) in his theses. Svensson (Svensson 2010) examined the foundations for onshore wind turbines where both the more convential method with a large concrete slab are investigated, but also alternative foundation methods are studied, mainly piled foundations. Byrne and Houlsby (Byrne 2003) explored civil-engineering problems encountered for offshore wind turbines and examined the deficiencies in the current design approaches. The manuscript of Dominique Roddier and others (Roddier 2010) summarizes the feasibility study conducted for the WindFloat technology.

Another new type of pile foundation was designed by Samoxvalov (Samoxvalov 2017) Static studies of a pile having at its end a broadening in the form of a membrane cup showed that a controlled broadening at the end of the pile on average causes a two-fold increase in the load-carrying capacity of the soil massive in the area of the broadening. Pronozin (Pronozin 2018) also studied the design of drill-injection piles produced by the cup technology with injection of a solution in the mode of formation of "hydraulic fractures" and the formation of controlled broadening at the end of the pile.

Різновиди фундаментів

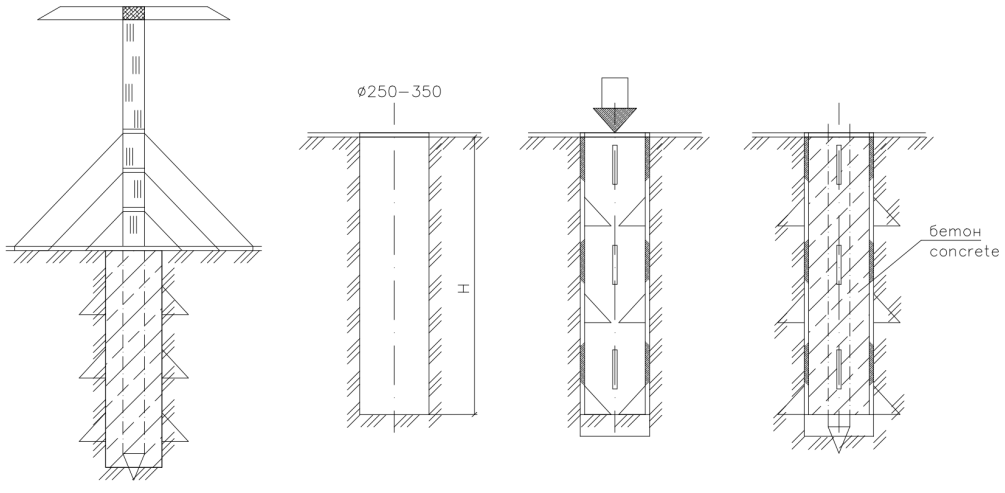
Розглядаються різні види фундаментів:

- Окремо розташовані монолітні залізобетонні плитні фундаменти, маса яких значно перевищує величину різнознакових крутильних моментів. Раціонально застосовувати такі фундаменти в середньозернистих піщаних ґрунтах і щільних глинистих, при $\rho_d \geq 1.45$г/см^3. Щогла жорстко пов'язана з тілом фундаменту.
- Фундаменти з похилих призматичних паль, голови яких жорстко з'єднані бетонним ростверком. Палі своїми вістрями спираються на практично нестискувані ґрунти.
- Фундаменти з пірамідальних паль. Навантаження від щогли передаються через бетонний ростверк, жорстко пов'язаний з головами паль, на бічні грані. Ґрунт вздовж граней палі попередньо ущільнений при забиванні і його щільність збільшена в 1.15-1.2 рази в порівнянні з природним ґрунтом.
- Фундаменти з козлових паль, що розкриваються самостійно при забиванні. Особливості їх спільної роботи з ґрунтами основи полягають у влаштуванні при забиванні ущільненого ґрунтового ядра з $\rho_d \geq 1.75$г/см^3 і зовнішньої зони ущільнення з $\rho_d \geq 1.65$г/см^3, які сприймають діючі навантаження через ростверк.
- Комбіновані буроін'єкційні фундаменти (рис.1). Раціонально застосування цих фундаментів в глинистих ґрунтах середньої щільності.

Технологія

Влаштування цих фундаментів розділене на кілька етапів:

- буріння свердловини ϕ250-350мм на глибину від 2.5 до 4.0м (Рис.1а);
- влаштування металевої закладної труби ϕ217мм з прорізами (4-8шт), в які закладені лопаті, прикріплені до труби спеціальними болтами (Рис.1б);
- в пробурену свердловину закласти трубу, а потім за допомогою анкера задавити лопаті так, щоб вони через прорізи увійшли в ґрунт (Рис.1в);
- трубу з анкером заповнити бетоном С15 / 20 з пошаровим ущільненням;
- готовий комбінований буроін'єкційні фундамент може бути використаний при монтажі установки вітродвигунів з висотою щогли 4.0-6.0м.



General view

а. Буріння свердловини
a. Drilling a hole

б. Металева труба
b. Metal pipe

в. Після розкриття лопатей
c. After blades' opening

Рисунок 1. Комбінований буроін'єкційний фундамент.
Image 1. Combined drilled-injection foundations

Опір горизонтальним і обертальним навантажень виробляється за допомогою випускних лопатей і вертикальної труби.

Foundation types

Different types of foundations are considered:

- Freestanding monolithic reinforced concrete slab foundations, the mass of which greatly exceeds the value of different torsional moments. It is rational to use such foundations in medium-grained sandy soils and dense clay soils when $\rho_d \geq 1.45 g/cm^3$. The mast is rigidly connected to the foundation body.
- Foundations of inclined prismatic piles, the heads of which are rigidly connected by a concrete rover. The piles rest on virtually incompressible soils.
- Foundations of pyramidal piles. Loads from the mast are transferred to the sides of the piles through a concrete grill rigidly connected with the heads of the piles. The soil along the edges of the pile is pre-compacted during driving and its density is increased by 1.15-1.2 times compared with the natural soil.
- Foundations made of batter self-deploying piles while driving. The peculiarities of their joint work with the foundation soils are in the arrangement during ramming of compacted soil core with $\rho_d \geq 1.75 g/cm^3$ and the external compaction zone with $\rho_d \geq 1.65 g/cm^3$, which take the acting loads through the unifying grillage.
- Combined drilled-injection foundations (image 1). It is rational to use these foundations in clay soils of medium density.

Technology

The construction of these foundations is divided into several steps:

- drilling a hole ϕ250-350mm to a depth of 2.5 to 4.0m (image 1a);
- installation of a metal embedded pipe ϕ217mm with slots (4-8 pieces), in which the blades are embedded, attached to the pipe with special bolts (image 1b);
- lay the pipe in the drilled hole, and then with an anchor to crush the blades so that they through slots entered into the ground (image 1c);
- fill in the tube with anchor with concrete C15/20 with layer-by-layer compaction;
- ready-made combined drill-injection foundation can be used at installation of wind turbine with mast height 4.0-6.0m.

The horizontal and torsional loads are resisted by means of outlet blades and a vertical pipe.

Conclusions

- Wind turbines with a horizontal arrangement of the generator and the blades found wide application in suburban areas and other objects, which are remote from the main power grids.
- Features of their work is the independence of the action of different wind direction from the wind rose, and the value of the load is transferred through the mast to the underground part of the structure.
- The joint operation of soil base with foundations on horizontal and torsional loads depends on the physical and mechanical characteristics of soils (density of dry soil, moisture, friction, etc.)
- From the considered variants of foundations, the most effective are foundations of driven seal piles (pyramidal batter), as well as combined drilled-injection foundations that allow to increase the resistance of piles to external loads due to compaction of soil during pile driving.

Висновки

- Вітродвигуни з горизонтальним розташуванням генератора і лопатей знайшли широке застосування на заміських ділянках і інших об'єктах, які віддалені від основних електромереж.
- Особливості їх роботи полягають в незалежності дії різнознакового напрямку вітру від рози вітрів, а величина навантаження передається через щоглу на підземну частину споруди.
- Спільна робота ґрунтів основи з фундаментами на горизонтальні і крутні навантаження залежить від фізико-механічних характеристик ґрунтів (щільності сухого ґрунту, вологості, тертя та ін.)
- Із запропонованих варіантів фундаментів найбільш ефективними можна вважати фундаменти із забивних паль ущільнення (пірамідальних, козлових), а також комбіновані буроін'єкційні, що дозволяють підвищити опір паль дії зовнішніх навантажень за рахунок ущільнення ґрунту при забиванні.

ЛІТЕРАТУРА/BIBLIOGRAPHY

- Adhikari, S., Bhattacharya, S. «Dynamic analysis of wind turbine towers on flexible foundations.» *Shock and Vibration* 19, no. 1 (2012): 37-56.
- Nim, E. «Wind turbine with floating foundation.» Patent US7156586B2 (2007).
- Cuéllar, Pablo «Pile foundations for offshore wind turbines: Numerical and experimental investigations on the behaviour under short-term and long-term cyclic loading.» Tesis Doctoral, Technische Universität Berlin, Fakultät VI - Planen Bauen Umwelt, (2011), 273.
- Svensson, Henrik «Design of Foundations for Wind Turbines.» Master's Dissertation, Lund University, Department of Construction Sciences (2010), 161.
- Byrne B. W., Houlsby G. T. «Foundations for offshore wind turbines.» *Philosophical Transactions of the Royal Society. Mathematics, Physical and Engineering Sciences,* 361 (2003): 2909–2930.
- Roddier, D., Cermelli, C., Aubault, A., Weinstein, A. «WindFloat: A floating foundation for offshore wind turbines.» *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 2, 033104 (2010).
- Samoxvalov, M., Zazulya, Yu., Kajgorodov, M. «Results of a study of stress-strain state of the soil massive around the resulting broadening at the end drill-injection pile.» *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture & Civil Engineering* , 36 Issue 4 (2017): 50-57.
- Pronozin, Ya., Samokhvalov, M. «Analysis of the Interaction of Drill-Injection Piles with Soil Foundation.» *Soil Mechanics and Foundation Engineering 55,* (2018): 82-86.

SENSORES VOLTAMÉTRICOS DE INOX PARA LA MONITORIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

INOX VOLTAMMETRIC SENSORS FOR THE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES MONITORING

Ana Martínez-Ibernón
IDM - Instituto Interuniversitario de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico. Dpto. de Química. ETSIE. Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España. E-mail: anmarib@arqt.upv.es

Lina Alejandra Delgado Martínez
Escuela Técnica Superior de Ingenieria de Edificación (ETSIE), Universitat Politècnica de València. E-mail: lidelmar@edificacion.upv.es

Jose Manuel Gandía Romero
IDM - Instituto Interuniversitario de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico. Dpto. de Construcciones Arquitectónicas. ETSIE. Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España. E-mail: joganro@csa.upv.es

Rafael Calabuig Pastor
Escuela Técnica Superior de Ingenieria de Edificación (ETSIE), Universitat Politècnica de València..

Abstract

Due to the important role of the reinforcement concrete structures (RCS) in a society development are fundamental extend their service life preserving. The implementation of monitoring systems in the RCS is a very effective measure to achieve this goal. These monitoring systems allow us to obtain information about the state of the structure in real time and also through the process of the information, develop forecast models which help us to prevent entailed costly interventions and avoiding failures that can compromise the safety of people.

One of the monitoring systems with greatest potential are formed by voltammetric sensors of different nature, these are named multisensor systems. These systems are capable to obtain a huge amounts of information. Through data processing with statistical multivariate analysis tools (PCA, PLS, RNA) can be develop quantification and forecast models.

In order to promote their use in the RCS, it will be interesting to reduce the cost of the sensors that make up the multisensor system. Bearing this in mind stainless steel (INOX) could be a good option to take part in the multisensor system.

In this study was demonstrated the capability of the voltammetric INOX sensor to identify the presence of chlorides, the concrete carbonation and the variations in oxygen and humidity availability in a conventional concrete, processing the data gathered by means of a PCA analysis.

Therefore, considering the low-cost of the SS, its resistance and the capability of the sensor to detect the corrosion parameters mentioned, it is shown that the sensor is properly to be used in the structures monitoring systems.

Keywords
Corrosion , monitoring, sensors, concrete, durability

Introducción

Las estructuras hechas con hormigón armado (EHA)tienen una gran repercusión en el desarrollo de la sociedad, en el medioambiente y en la economía de un país (Alexander and Beushausen 2019; Ramón Zamora 2018; Tutti 1982). Por lo que nos interesara que su vida útil sea lo más longeva posible preservando los niveles de servicio y seguridad apropiados (Alexander and Beushausen 2019). No solo un diseño correcto asegurará su durabilidad si no que será necesario desarrollar sistemas de control y monitorización que nos permitan tanto monitorizar el estado en tiempo real de las estructuras, como a través de los datos recogidos y modelos de predicción evitar daños que puedan llevar a intervenciones altamente costosas tanto a nivel medioambiental como económico.

Para el desarrollo de estos sistemas de monitorización será muy útil la implementación de sensores embebidos en las EHA (Duffó and Farina 2009; Gandiá-Romero et al. 2016; Pereira et al. 2009; Ramón et al. 2016). Uno de los sistemas de sensores con gran potencial son aquellos formados por sensores voltamétricos (Alcañiz Fillol 2011; Campos 2013; Gandía Romero 2014; Gay Martin 2012) ya que a través de aplicar técnicas de análisis de la información siguiendo los protocolos de trabajo RNA, PCA y PLS podremos obtener modelos de cuantificación y predicción. Además, podremos construir sistemas formados por sensores voltamétricos de distinta naturaleza, sistemas multisensor, aumentando el poder de detección, discriminación y cuantificación del sistema.

Como sistemas multisensores, encontramos en el mercado las llamadas "Lenguas Electrónicas" (Alcañiz Fillol 2011; Campos 2013; Colombiana 2017; Fuentes 2017; García Varela n.d.). Actualmente son ampliamente utilizadas en la industria alimentaria (Campos 2013). Resultando interesante la aplicación de estos sensores en las estructuras de hormigón armado debido a su gran capacidad de procesado de información.

Resumidamente la "Lengua Electrónica "es un sistema multisensor formado por un conjunto de sensores de selectividad cruzada (Campos 2013). De ellos se pueden obtener datos de distinta naturaleza que, tratados con una herramienta de análisis estadístico, proporcionan información sobre la composición cualitativa y cuantitativa de las muestras que se analizan (Winquist, Wide, and Lundström 1997). Los métodos estadísticos que se utilizan están basados en Análisis de Datos Multivariados, como son las Redes Neuronales Artificiales (RNA), los Análisis por Componentes Principales (PCA) y la regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) (Campos 2013).

Un metal interesante para formar parte de este sistema multisensor es el acero inoxidable, destacamos tres aspectos interesantes: Su uso para la fabricación de sensores voltamétricos en lenguas electrónicas en el sector alimenticio (Pérez-Ràfols et al. 2019), que sobre su superficie se ve favorecida la reducción del oxígeno(Correia 2006), principal agente oxidante en las reacciones de oxidación de las armaduras en las EHA, reacciona ante la presencia de cloruros y carbonatos (comprobado por el grupo investigador en estudios previos) y es un material de bajo coste comparado con otros metales nobles utilizados en la fabricación de sensores voltamétricos.

Nuestro objetivo en este estudio fue mediante la aplicación de la técnica de análisis multivariante PCA, empleada para las Lenguas Electrónicas, evaluar la capacidad del sensor para detectar distintas variaciones que se pueden dar en el hormigón y que afectan a la durabilidad de las estructuras de hormigón armado desde el punto de vista de la corrosión en el periodo de iniciación (Tutti 1982) (carbonatación del hormigón y penetración de cloruros, principales agentes despasivantes de las armaduras).

Introduction

The reinforcement concrete structures (RCS) have a significant impact on the society development, environment and economy of a country (Alexander and Beushausen 2019; Ramón Zamora 2018; Tutti 1982). Therefore, it is important to achieve as long as possible structures of service life, preserving their serviceability limit states in the properly levels (Alexander and Beushausen 2019). Not only a well-designed are going to ensure their service life, it will be necessary the development of control and monitoring systems. These will allow us to know the state of the structure in real time and by means of forecast models, which use the data collected by the system, avoid damages that can produce entailed costly interventions from both an environmental and an economic perspective.

In order to develop this monitoring systems, it will be very useful in the implementation of the embedded sensors in the RCS (Duffó and Farina 2009; Gandiá-Romero et al. 2016; Pereira et al. 2009; Ramón et al. 2016). One of the greatest potentials sensors systems are formed by voltammetric sensors (Alcañiz Fillol 2011; Campos 2013; Gandía Romero 2014; Gay Martin 2012), due to the fact the information can be analysed through multivariate statistical methods such as RNA, PCA and PLS, obtaining quantification and forecast models. Furthermore, we can create systems make up by different nature voltammetric sensors, this is named multisensors systems, in this way the detection, discrimination and quantification capability of the system is being improved.

A commercial multisensor system that we can find in the market are the "Electronic Tongues" (Alcañiz Fillol 2011; Campos 2013; Colombiana 2017; Fuentes 2017; García Varela n.d.), currently their used are widely extend in the food industry (Campos 2013). Because their huge information processing capability, their use is very interesting in the RCS.

Briefly, the Electronic Tongue is a multisensor system formed by an array of non-specific voltammetric sensors with cross-sensitivity (Campos 2013). Providing different nature data. When this data is processed by means of a statistical analysis tool, information related to the quantitative and qualitative composition of the sample analysed is obtained (Winquist, Wide, and Lundström 1997). The statistical methods used are based on Multivariate Analysis Methods, such as Artificial Neural Networks (ANN), Principal Components Analysis (PCA) and Partial Least Square (PLS) regression (Campos 2013).

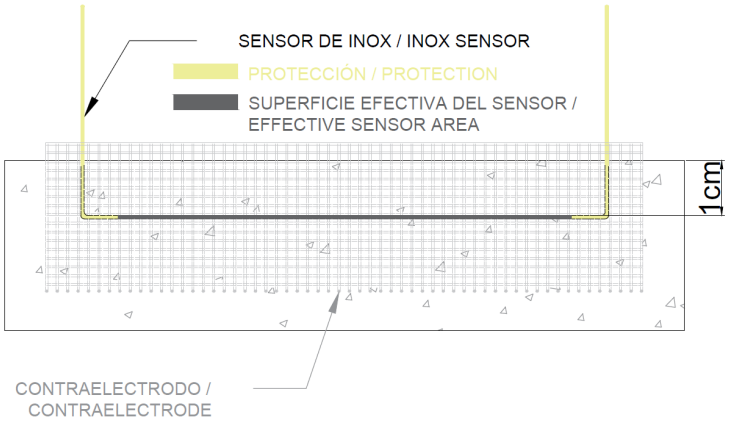
A very interesting metal to be used in this multisensor system is the Stainless Steel, we pointed three important aspects: It has been used in Electronic Tongues used in the food industry (Pérez-Ràfols et al. 2019), over its surface is favoured the oxygen reduction (Correia 2006), the main oxidant agent of the rebars corrosion in the RCS, also this metal reacts with the chlorides and carbonates presence (it has been tested by the research team in previously works) and is a low-cost material compared with other noble metals used in the manufacture of voltammetric sensors.

The main objective of the research was through the application of the multivariate statistical technique PCA, used in the Electronic Tongues, evaluate the capability of the sensor to detect different variations that can be occurred in the concrete and affect to the structures durability from the point of view of the initial period (Tutti 1982) in the corrosion processes (concrete carbonatation and chlorides penetration, mainly despasivation rebars agents).

Plan Experimental

Materiales

Los sensores se fabricaron con alambre de 0.8mm de diámetro de acero inoxidable. Se acoto la zona de trabajo pintando los extremos con pintura de poliuretano impermeabilizante. Y se le dio forma de U para facilitar su colocación en la probeta. La superficie promedio de los electrodos fue 2.99±0.05 cm^2. Los sensores se colocaron a una profundidad, de la parte superior de las probetas, más o menos de 1cm (Figura 1).



Se usa como contraelectrodo/seudo-referencia una malla de alambre de acero inoxidable de 0.5 mm de diámetro doblada en L, con una superficie efectiva de 132±11.24 cm^2.

Estos sensores fueron embebidos en probetas de hormigón prismáticas de 4 x 4 x 16 cm^3 , tal y como se muestra en la Figura 1. Fabricadas con un hormigón convencional especificado en la Tabla 1.

Tabla 1 Composición del hormigón a/c=0.6 / Table 1 w/c=0.6 composition

Materiales/ Materials	$Kg/m^3_{concrete}$
Cemento / Cement I 42.5 R-SR5	315
Agua / Water	189
Superplastificante / Superplasticizer	2.2
Arena silícea / Silica Sand	1212
Grava / Coarse Aggregate	653
f_{ck}	30MPa

Con el fin de que el estudio tenga certeza estadística se prepararon tres amasadas y por cada amasada se fabricaron dos probetas. Teniendo pues un total de 6 probetas con sensores embebidos.

Para evaluar el poder de discriminación de los sensores ante distintas condiciones que se pueden dar en el hormigón y que afectan a su durabilidad se establecieron los siguientes escenarios de estudio:

- Hormigón sin carbonatar en condiciones saturadas de agua (SAT): Después del hormigonado las probetas permanecieron 48 días en la cámara de curado en condiciones de humedad relativa (HR) próximas al 99%. Una vez pasado este tiempo se sacaron de la cámara y se sumergieron en agua, con la finalidad de que su estado siguiera manteniéndose en condiciones de saturación de agua.
- Hormigón sin carbonatar en condiciones atmosféricas (ATM): Una vez finalizado el estudio en estado saturado de agua, las probetas se introdujeron en la estufa a 40°C durante 48 horas para secarlas de forma suave. Pasado ese tiempo se dejaron a la intemperie en condiciones del laboratorio durante 48h antes de empezar los ensayos en este estado.
- Hormigón carbonatado (CO2): Ensayadas las probetas en condiciones atmosféricas, la mitad de estas probetas se introdujeron en cámara de carbonatación al 3.5% de CO_2 (T=23 ±2°C; HR≈60%), manteniéndose en estas condiciones durante 60 días con el fin de asegurar que en el entorno del sensor el hormigón estuviera totalmente carbonatado. Previamente mediante probeta testigo se evaluó el tiempo requerido para que la sección de la

probeta estuviera totalmente carbonatada en las condiciones de la cámara de carbonatación. Se comprobó que a este tiempo la sección de la probeta 4x4x16cm^3 ya está totalmente carbonatada en condiciones de la cámara.

- Presencia de cloruros (Cl-): Ensayadas las probetas en condiciones atmosféricas, la mitad de estas probetas se sumergieron en disolución de NaCl 0.5m, esta concentración es similar a la del agua de mar.

Respecto a la secuencia de medidas en cada estado, en los estados SAT y ATM las medidas se hicieron en tres días consecutivos. En el caso del estado carbonatado y de penetración de cloruros las medidas se hicieron según lo indicado en la Tabla 2.

Experimental Plan

Materials

The sensors were manufactured with stainless steel (SS) 0.8mm wire. The working zone was limited using a polyurethane waterproofing paint cover in the extremes of the sensors as is showed in Figure 1. Then was shaped into U, which facilitated the placement in the sample. The average surface of the sensors was 2.99±0.05 cm2. The sensors were located more or less 1cm depth from the top surface of the sample (Figure 1).

A stainless steel wire mesh was used as contraelectrode/pseudoreference electrode. The diameter of the wire was 0.5mm and was shaped into L, with an effective surface 132±11.24 cm^2.

These sensors were embedded in concrete samples 4 x 4 x 16 cm3, as is showed in the Figure 1. The samples were manufactured with a conventional concrete specified in the Table 1.

With purpose to obtain statistical certain in the study were made three concrete mix and for each one were made two samples. According to this the total number of samples with embedded sensors were 6.

In order to evaluate the discrimination capability of the sensors in different conditions which can occur in the concrete and affect to its durability, were defined the following scenarios:

- Non-carbonated concrete in water saturated conditions (SAT): After pouring of concrete, the samples were kept into the hardening chamber 48 days, the relative humidity (HR) was close to 99%. Then, the samples were submerged in water, in this way the samples do not lost water and remain in saturated water conditions.
- Non-carbonated concrete in atmospheric conditions (ATM): When the study in SAT conditions was completed, the samples were dryer in a heater at 40°C during 48h. Then, the samples were let in laboratory conditions 48h before to begin the tests.
- Carbonated concrete (CO2): Once the test in ATM conditions was finished, the half of the samples were introduced in the carbonation chamber (3.5% CO2, T=23 ±2°C; HR≈60%). The samples were in the carbonation chamber during 60 days, in order to ensure the completely carbonation of the sensors surroundings. Previously, was evaluated the required time to carbonate all the sample section with a sample made with the same concrete used in the study.
- Chlorides presence (Cl-): Once the test in ATM conditions was finished, the half of the samples were submerged in a NaCl 0.5m solution. This concentration is the same as the water sea.

About the measures sequence in each state, in the SAT and ATM scenarios the measures were made in three consecutive days. In the case of the carbonated state and chlorides penetration, the measures were made in the sequence pointed in Table 2.

Tabla 2 Días a los que se hicieron los ensayos en las probetas carbonatadas y sumergidas en NaCl 0.5m / Table 2 Test days of the carbonated and submerged in NaCl 0.5m solution samples

	Días en cámara de carbonatación o inmersas en disolución NaCl 0.5m / Days in carbonatation chamber or submerged in NaCl 0.5m solution
1ª medida / 1rst measure (m1)	20 días
2ª medida / 2nd measure (m2)	30 días
3ª medida / 3rd measure (m3)	60 días

Técnicas electroanalíticas aplicadas

Las técnicas electroanalíticas utilizadas fueron la Voltametría Cíclica (CV) y la Espectroscopia de Impedancia (EI) aplicadas mediante el equipo Autolab PGSTAT10 y los datos se extrajeron a través del software Nova 1.11.

Las dos técnicas se aplicaron usando la configuración a 2 electrodos: Donde tendremos el sensor como electrodo de trabajo y las mallas de INOX como el contraelectrodo-seudo referencia. Esta configuración era aceptable ya que el contraelectrodos utilizados tenían una superficie mucho mayor que la de los electrodos de trabajo (Ramón Zamora 2018).

La técnica de voltametría cíclica se aplicó en el rango en el que se produce la reducción del O2, es decir en el sentido de barrido catódico a potenciales lo suficientemente negativos (Correia et al. 2006), asegurándonos, además, no sobrepasar durante el barrido anódico lo que se llama en bibliografía "Potencial límite de picadura", a partir del cual se pierde la pasividad del acero inoxidable (Ait Albrimi et al. 2011) (BABIC and METIKOS-HUKOVIC 1993). La velocidad de barrido usada fue 20mV/s.

Respecto a la Espectroscopia de Impedancia, el rango de frecuencias barrido iba desde 100000 Hz hasta 1000 Hz y el valor de la tensión eficaz de la señal aplicado fue de 10mV. Con esta técnica obtenemos el valor del parámetro Rs, que hará referencia a la resistencia a la circulación de iones en el hormigón (Martínez-Ibernón et al. 2019).

Electrochemical Techniques applied

Cyclic Voltametry (CV) and Impedance Spectroscopy (EI) were used. These techniques were applied by means of Autolab PGSTAT10 and the data were obtained through the software Nova 1.11.

Both techniques were applied using two electrodes configuration. Where the working electrode were the sensors and the SS wire meshes were the counterelectrode/pseudo-reference. This configuration was valid because the counterelectrodes had a higher surface than the working electrodes (Ramón Zamora 2018).

The CV was applied in the potentials range where the oxygen reduction take place, in the cathodic direction and until potentials enough negative (Correia et al. 2006), besides, with this range we could be sure that during the anodic sweep potential It was not overcoming the called in bibliography "Potential pitting limit", since from this potential the passivity of the SS is lost (Ait Albrimi et al. 2011) (BABIC and METIKOS-HUKOVIC 1993). The sweep rate was 20mV/s.

In Regard to the EI, the frequencies range swept were from 100000Hz to 1000Hz and the signal value of the RMS voltage was 10mV. With this technique was obtained the value of Rs, which is related to the ion flow resistance through the concrete (Martínez-Ibernón et al. 2019).

Análisis PCA

Con los resultados obtenidos de los ensayos en los distintos escenarios se construyó la matriz de datos mostrada en la Tabla 3. En esta tabla la columna de muestras se refería a las medidas que se hicieron para cada probeta en cada uno de los estados estudiados. En la columna estado se definió el

nombre del estado al que corresponde la muestra y el tipo de hormigón. En las columnas de variables iban todos los datos de Voltamétria Cíclica y Rs.

Esta matriz de datos se analiza mediante Análisis estadístico de Componentes Principales (PCA)(Alcañiz Fillol 2011; Ballabio 2015; Bataller 2001; Ivosev, Burton, and Bonner 2008; Pérez-Ràfols et al. 2019; Todeschini 1997). Esta herramienta nos permitió reducir el número de variables independientes intentando perder la menor cantidad de información posible (Alcañiz Fillol 2011; Ballabio 2015; Bataller 2001; Ivosev, Burton, and Bonner 2008; Pérez-Ràfols et al. 2019; Todeschini 1997).

Tras el procesado con PCA la información es representada respecto a dos nuevos ejes de referencia, los cuales reciben el nombre de componentes principales (PC). Se escoge el primer componente principal (PC1) de manera que contenga el máximo de la varianza de los datos. El segundo componente principal (PC2) que se escoge debe contener el máximo de la varianza restante y ser ortogonal al primero. De este modo una representación de las muestras proyectadas sobre PC1 y PC2 nos da la mayor información que se puede conseguir de las medidas trabajando en dos dimensiones. A partir de la representación de la información en dos ejes pudimos agrupar y clasificar las muestras.

Se aplica este protocolo de procesado de datos mediante la herramienta informática PCA toolbox for MATLAB (Ballabio 2015).

PCA analysis

With the results obtained in the different study scenarios was built the data matrix showed in the Table 3. In this table the samples column was referred to each measure made in each state for each sample concrete. In the state column was defined the name of each state and the concrete type. In the variable columns we had the data of the electrochemical tests.

Tabla 3 Tabla o matriz de datos usada en el análisis PCA / Table 3 Data matrix used in PCA analysis

MUESTRAS / SAMPLES	**ESTADO / STATE**	**Variable 1 / Variable 1**	**……**	**Variable n / Variable n**	**Rs(Ω)**
S1					
. . .					
Sn					

The data matrix was analysed by means of Principal Component Analysis (PCA) (Alcañiz Fillol 2011; Ballabio 2015; Bataller 2001; Ivosev, Burton, and Bonner 2008; Pérez-Ràfols et al. 2019; Todeschini 1997). This tool allowed us reduce the quantity of independent variables, trying to lose as few information as possible (Alcañiz Fillol 2011; Ballabio 2015; Bataller 2001; Ivosev, Burton, and Bonner 2008; Pérez-Ràfols et al. 2019; Todeschini 1997).

After the PCA data processing, the information is represented respect two new references axes, these axes are called principal components (PC). Is chosen as the first principal component (PC1), the component that contain the maximum of the data variance. The second principal component (PC2) chose should explain the rest of the variance and be orthogonal to the PC1. Thus, the projection representation of the samples over the PC1 and PC2 give as the most information that can be gotten from the measures in two dimensions. From the information representation in two axes we could group and classifier the samples.

This process protocol was applied by means of the toolbox for MATLAB (Ballabio 2015).

Resultados

En la Figura 2 vemos el gráfico de scores de PCA con la distribución de las muestras en el plano formado por las dos primeras componentes principales. En el eje de las x tenemos el PC1 este recoge el 53.33% de la varianza de los datos, y en el eje de las ordenadas tenemos el PC2 que explica el 30.59% de la varianza de los datos. Estos valores basándonos en otros estudios publicados son buenos (Alcañiz Fillol 2011; Campos 2013). Además, podemos distinguir perfectamente los grupos de puntos asociados a cada estado estudiado (SAT, ATM, CO2 y Cl-), no existen solapamientos.

El gráfico está dividido en 4 cuadrantes (Figura 2) definidos por los ejes vertical y horizontal que pasan por el punto (0,0). En la zona central de los cuadrantes izquierdos encontramos el grupo de puntos asociado a condiciones atmosféricas. Mientras que en los dos cuadrantes derechos parte superior encontramos los clústeres asociados a los estados en condiciones de saturación de agua (SAT y Cl-) y en la parte inferior el grupo asociado al estado carbonatado (CO2).

En condiciones de saturación de agua la disponibilidad de oxígeno era menor que en condiciones atmosféricas, puesto que esta viene impuesta por la solubilidad de este gas a la presión a la que se encuentre el fluido en la red capilar. Por otra parte, en las condiciones de hormigón carbonatado, la porosidad del mismo se ha visto afectada, al producirse carbonatos poco solubles los poros se han obstruido, lo que dificulta la penetración de gases y líquidos desde el exterior al interior de la probeta de hormigón. Teniendo esto en cuenta podremos decir que a medida que los puntos se encuentren más hacia la derecha del gráfico la presencia de oxígeno será menor.

Los puntos pertenecientes al estado carbonatado se sitúan en la parte baja del cuadrante inferior derecho. Con la carbonatación se ha visto afectado además de la porosidad, el pH de la disolución de poro del hormigón. Al cambiar el pH de la disolución de poro del hormigón los puntos se desplazan hacia abajo. Como el hormigón esta carbonatado, pero se encuentra en condiciones atmosféricas, podríamos esperar que, aunque fuera desplazados hacia abajo por el cambio de pH, los puntos se encontraran en la zona de puntos ATM (lo más a la izquierda del gráfico), pero como ya hemos dicho se reduce la disponibilidad de O2 dentro de las matrices de hormigón al inhibirse su penetración por el taponamiento de los poros.

Respecto a los puntos asociados al estado de penetración de cloruros, vemos que no se encuentran en el mismo cuadrante que el grupo de puntos asociados a estado saturado con agua, están desplazados de estos.

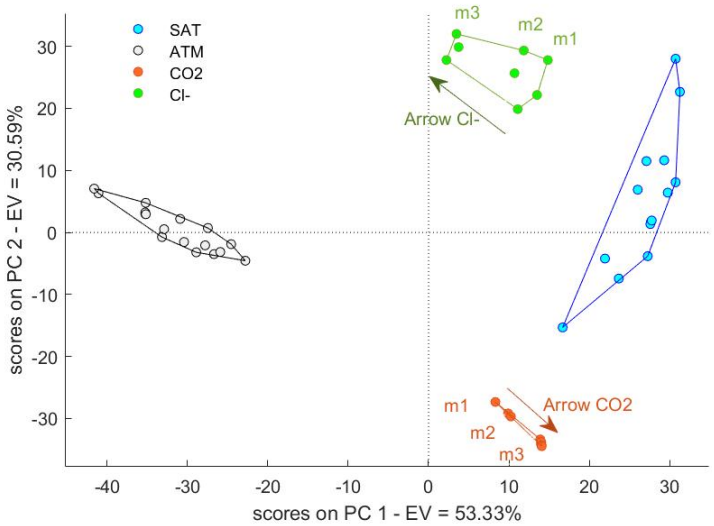


Figura 2 Gráfica de análisis PCA. Azul: Condiciones de Saturación de agua (SAT); Gris: Condiciones Atmosféricas de laboratorio (ATM); Verde: Probetas sumergidas en NaCl 0.5m (Cl-); Naranja: Probetas Carbonatadas (CO2). [m1: medida a los 20 días, m2: medida a los 30 días, m3: medida a los 60 días] / Figure 2 PCA graphic. Blue: Water saturated conditions(SAT); Grey: Laboratory conditions (ATM); Green: Submerged in NaCl 0.5m (Cl-); Orange: Carbonated state (CO2). [m1: measure after 20 days, m2: measure after 30 days, m3: measure after 60 days]

Results

In the Figure 2 we can see the scores graphic obtained with PCA analysis with the samples representation respect the two first principal components. In the x axe is represented the PC1, which explain the 53.3% of the data variance, and in the y axe is represented the PC2, that explain the 30.59% of the data variance. Based on other published studies we can say that these values are good (Alcañiz Fillol 2011; Campos 2013). Furthermore, we can distinguish easily the groups associated to each study state (SAT, ATM, CO2 and Cl-), there are not overlapping.

The graphic is divided in four quadrants (Figure 2) defined by the vertical and horizontal axes that through the point (0,0). In the central zone of the left quadrants we can find the points belong from the atmospheric group. Whereas, in the two right quadrants we can find in the top part the saturated conditions and chlorides penetration clusters and in the low part the cluster belongs to the carbonated state.

In water saturated conditions the oxygen availability is lower than in atmospheric conditions, because the concentration is defined by the solubility of this gas at the fluid pressure in the capillary network. On the other hand, in the carbonated conditions, the porosity of the concrete has been affected due to the poorly-soluble carbonates formation, the pores have been blocked. This fact hampers the penetration of gasses and liquids from the outside to the concrete sample interior. Thus, we can say that the displacement of the points towards to the right means the decrease of oxygen availability.

The point belong to the carbonated state are placed in the low part of the right bottom quadrant. The concrete carbonation produce the pH drop in the concrete pore solution. Because of the pH change the points are displaced towards down. As the concrete is carbonated, but are in atmospheric conditions, we could expect that the points were placed in the zone of ATM points, even these were in the low part of the quadrant, but as we said before, the oxygen availability is lower due to blocked pore effect.

The cluster of chlorides penetration state is in the same quadrant as the saturated conditions points, but how the conditions are not the same the points of chlorides penetration are displaced to the top part of the quadrant.

Analizaremos ahora las tendencias de los puntos en el estado CO2 y Cl-, puesto que las medidas en estas condiciones se hicieron en distintos tiempos para ver si el sensor era capaz de detectar una evolución en las reacciones.

En el grupo asociado a la penetración de cloruros (probetas sumergidas en disolución NaCl 0.5m, puntos verdes), podemos observar una tendencia de los puntos ascendente diagonal hacia la izquierda (arrow Cl-, Figura 2), de tal manera que los puntos más alejados del grupo de estado SAT son los puntos de la medida hecha a los 60 días de inmersión en la disolución de NaCl 0.5m. Esto se debe a la evolución de la penetración de los cloruros en la matriz de hormigón, causada por el gradiente de concentraciones de Cl^- entre la disolución en la que estaban sumergidas las probetas y la disolución de poro de las misas. A medida que estos penetran en el hormigón hay una parte que se combina y otra que sigue difundiendo libremente de zonas de mayor concentración a menor. Una vez que ya no pueda fijar más Cl- el hormigón estos se quedarán libres en la disolución de poro y la concentración tenderá a equilibrarse con la de la disolución en la que están sumergidas las probetas. Esto dependerá de la porosidad del hormigón y del porcentaje de silicato de calcio hidratado del hormigón, pues este es el principal fijador de los cloruros. Atendiendo a lo dicho a medida que la concentración de cloruros aumente los puntos se alejaran del grupo de puntos de estado saturado. Por lo que teniendo en cuenta los resultados los sensores fueron capaces de detectar variaciones en la presencia del anión cloro.

Para comprobar si efectivamente los sensores detectaron correctamente la presencia de cloruros, una vez finalizados los ensayos se rompieron las probetas y se pulverizo sobre la superficie transversal al sensor nitrato de plata para detectar de forma colorimétrica la presencia de cloruros libres. Si la superficie se quedaba blanquecina había presencia de cloruros no combinados, en caso contrario si la superficie se ennegrecía no había cloruros libres.

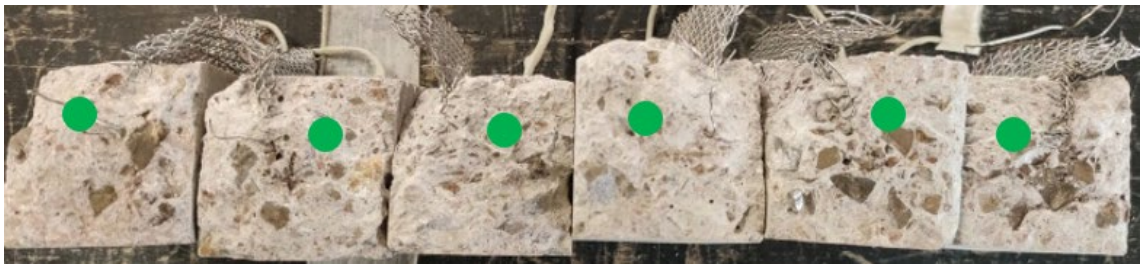


Figura 3 Fotografía tomada de las probetas pulverizadas con Nitrato de Plata tras los ensayos. El circulo verde indica la zona en la que se encuentra el sensor / Figure 3 Silver nitrate test samples photography. The Green circle points the sensor zone.

En la Figura 3, vemos que las probetas están completamente afectadas por los cloruros. Estas apreciaciones a partir de la pulverización de $AgNO_3$ son coherentes con los resultados obtenidos con el sensor mostrados en el PCA.

En el caso del grupo asociado a la carbonatación, comprobamos que existe una tendencia descendente de los puntos hacia la esquina inferior derecha del gráfico (arrow CO2, Figura 2). Los puntos más cercanos a esta esquina corresponden a las últimas medidas realizadas (60 días). Por lo que a medida que nos vamos hacia la esquina derecha inferior el grado de carbonatación será mayor.

Para comprobar la sección de la probeta carbonatada, una vez acabados los ensayos se pulverizo fenolftaleína sobre las probetas seccionadas (Figura 4), de tal manera que aquella zona que quedaba incolora tenía un pH por debajo de 8.5 (estaba carbonatada) y la zona que tintaba de rosa no estaba carbonatada teniendo un pH por encima de 9.

En la Figura 4 vemos que en dos de las probetas quedaba un pequeño núcleo central sin carbonatar, pero alrededor del sensor en todos los casos el área estaba totalmente carbonatada. Por tanto, los resultados obtenidos en el análisis PCA podemos decir que son coherentes.



Figura 4 Fotografía tomada de las probetas pulverizadas con fenolftaleína tras los ensayos. El circulo naranja indica la zona en la que se encuentra el sensor / Figure 4 Phenolphthalein test samples photography. The yellow circle points the sensor zone.

Now, we are going to analyse the tendency of the points for the CO2 and Cl- states, the measures in this conditions were performed at different times in order to check if the sensor will be capable to detect the evolution of the reactions.

In the points group related to the chlorides penetration (samples submerged in NaCl 0.5m solution, Green points), we can see an upward diagonal trend towards the left (arrow Cl-, Figure 2), the points farthest to the saturated conditions points are the points of the measure did at the 60 days of samples submerged in NaCl 0.5m. This trend is due to the evolution of the chloride penetration into of the concrete matrix. The penetration is produced because of the concentration gradients between the solution where were submerged in the samples and the pore dissolution of them. While the chlorides are penetrating in the concrete one part of them are fixed by the concrete and the other part continues to spread from zones with high concentration to zones with lower concentration of chlorides. This phenomenon continues until the concentration in all the pores achieve the balance. This balance

point depends on the concrete porosity and the percentage of Calcium Silicate hydrate, which is the main chlorides fixer. According to this, while the chlorides concentration in the concrete pore solution increase the points of this state will go away from the points of water saturated state. Therefore, the sensors are capable to detect variations in the presences of Cl-.

In order to verify if the sensors had detected the chloride presence correctly, then of the end the tests the samples were broken. The sheared surface (sensor cross surface), was pulverized with Silver Nitrate with the purpose to detect the presence of free chlorides with colorimetric method. If the surface had turned “whiteys” there were free chlorides presences, if the surfaces turn "blackish" there were not free chlorides presences.

In the Figure 3, we can see as the whole section of the sample are affect by chlorides. This agree with the results obtained in the PCA analysis.

In the carbonated conditions cluster, exist a points downward trend towards the right low corner of the graphic (arrow CO2, Figure 2). The points closer to the corner were the respective to the measure did at 60 days of carbonation process. Thus, as we approach to the right low corner the carbonation grade is higher.

With the purpose to verify if the concrete samples were completely carbonated, was pulverized phenolphthalein over the sheared samples (Figure 4), the zone that kept colourless had a pH lower than 8.5 (it was carbonated), conversely, the zone that tinted pink was not carbonated, having a pH higher than 9.

In the Figure 4, we can see in two of the samples a little nucleus without carbonated, but in the surroundings of the sensors, in all of the cases the concrete was carbonated. Therefore, the results obtained in the PCA analysis are consistent.

Conclusions

After to analyse the results we can say that the developed SS sensor allow us to differentiate variations in the oxygen and humidity availability and presence of chlorides inside the hardened concrete matrix, besides to evaluate the carbonation state of the concrete. Thus, the results allow us to develop forecast models for the initiation period and the propagation period in the corrosion processes.

On the other hand, it should be pointed out that the electrochemical techniques were applied with the two electrodes configuration. This fact is very interesting from the point of view of the installation of this technology in real structures, due to remove the necessity to use reference electrodes, which in general needs a maintenance in order to ensure their stability. The counter electrode does not need maintenance and always that it will be the enough big to do not polarized during the electrochemical test application, it will not affect to the results. Besides, when the configuration is two electrodes, the energy required in the signal is lower, because the charge compensation is direct between the working electrode and the counterelectrode-pseudoreference.

Conclusiones

Tras analizar los resultados podemos concluir que el sensor de INOX desarrollado nos permite diferenciar variaciones en la disponibilidad de humedad, oxígeno y presencia de cloruros dentro de la matriz endurecida de hormigón, así como evaluar el estado de carbonatación del hormigón. Por lo que los resultados nos permitirán desarrollar modelos de predicción para las fases de iniciación y de propagación de los procesos de corrosión.

Por otra parte, los ensayos se han realizado con la configuración a dos electrodos, este hecho es muy prometedor desde el punto de vista de la instalación de esta tecnología en estructuras reales, ya que elimina la necesidad de usar electrodos de referencia, que por lo general necesitan un mantenimiento para asegurar su estabilidad. El contraelectrodo no necesitará mantenimiento y siempre que sea lo suficientemente grande para que la polarización que pueda sufrir debido al ensayo sea mínima, no afectará a los resultados. Además, cuando se trabaja a dos electrodos la energía requerida en la señal aplicada es menor, puesto que la compensación de carga es directa entre electrodo de trabajo y contraelectrodo-pseudorefencia.

ACKNOWLEDGMENT: The authors would like to express their gratitude to the Spanish Ministry of Science and Innovation for the pre-doctoral scholarship granted to Ana Martínez Ibernón (FPU 16/00723). To the Universitat Politècnica de València for the financial support in the project "Ayudas a Primeros Proyectos de Investigación (PAID-06-18)".

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Ait Albrimi, Y., A. Eddib, J. Douch, Y. Berghoute, M. Hamdani, and R. M. Souto, 'Electrochemical Behaviour of AISI 316 Austenitic Stainless Steel in Acidic Media Containing Chloride Ions', International Journal of Electrochemical Science, 6.10 (2011), 4614–27
- Alcañiz Fillol, Miguel, 'Diseño de Un Sistema de Lengua Electrónica Basado En Técnicas Electroquímicas Voltamétricas y Su Aplicación En El Ámbito Agroalimentario', 2011, 295 <http://tdx.cesca.cat/handle/10803/34322>
- Alexander, Mark, and Hans Beushausen, 'Durability, Service Life Prediction, and Modelling for Reinforced Concrete Structures – Review and Critique', Cement and Concrete Research, 122.February (2019), 17–29 <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.04.018>
- BABIC, R., and M. METIKOS-HUKOVIC, 'Oxygen Reduction on Stainless Steel', 23.May 1992 (1993), 352–57
- Ballabio, Davide, 'Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems A MATLAB Toolbox for Principal Component Analysis and Unsupervised Exploration of Data Structure', Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 149 (2015), 1–9 <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2015.10.003>
- Bataller, R., 'Fabricación y Puesta a Punto de Una Nariz Electrónica Húmeda Para La Detección de Gases y Vapores', P.h.D. Thesis, Universitat Politècnica de València, València, Spain, 2001
- Campos, Inmaculada, 'Sensores Electroquímicos Tipo Lengua Electrónica Voltamétrica Aplicados Al Control Medioambiental y a La Industria Alimentaria' (Universitat Politècnica de València, 2013)
- Colombiana, Revista, 'Discriminación De Hidromieles a Través De Una Lengua Electrónica', 1.23 (2017) <https://doi.org/10.24054/01204211.v23.n23.2014.2326>
- Correia, M. J., E. V. Pereira, M. M. Salta, and I. T E Fonseca, 'Sensor for Oxygen Evaluation in Concrete', Cement and Concrete Composites, 28.3 (2006), 226–32 <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.01.006>
- Correia, M J, 'Sensor for Oxygen Evaluation in Concrete', 28 (2006), 226–32 <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.01.006>
- Duffó, Gustavo S., and Silvia B. Farina, 'Development of an Embeddable Sensor to Monitor the Corrosion Process of New and Existing Reinforced Concrete Structures', Construction and Building Materials, 23.8 (2009), 2746–51 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.04.001>
- Fuentes, Esteban, 'Aplicación de La Lengua Electrónica Voltametrica a Alimentos Líquidos' (Universitat Politècnica de València, 2017)
- Gandiá-Romero, J. M., I. Campos, M. Valcuende, E. Garciá-Breijo, M. D. Marcos, J. Payá, and others, 'Potentiometric Thick-Film Sensors for Measuring the PH of Concrete', Cement and Concrete Composites, 68 (2016), 66–76 <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.02.006>
- Gandía Romero, José Manuel, 'Sensores Electroquímicos Aplicados Al Estudio de La Corrosión En Estructuras de Hormigón Armado' (Universitat Politècnica de València, 2014) <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/48516>
- García Varela, David, 'La Lengua Electrónica'
- Gay Martin, Mónica, 'Nuevos Avances En Sensores Voltamétricos Nanoestructurados y Miniaturizados. Aplicación En Una Lengua Electrónica En El Sector Alimentario' (Universidad de Valladolid, 2012)

- Ivosev, Gordana, Lyle Burton, and Ron Bonner, 'Dimensionality Reduction and Visualization in Principal Component Analysis', 80.13 (2008), 4933–44 <https://doi.org/10.1021/ac800110w>
- Martínez-Ibernón, Ana, José Enrique Ramón, José Manuel Gandía-Romero, Isabel Gasch, Manuel Valcuende, Miguel Alcañiz, and others, 'Electrochimica Acta Characterization of Electrochemical Systems Using Potential Step Voltammetry . Part II : Modeling of Reversible Systems', 328 (2019) <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.135111>
- Pereira, Elsa Vaz, Rita Bacelar Figueira, Maria Manuela Lemos Salta, and Inês Teodora Elias da Fonseca, 'A Galvanic Sensor for Monitoring the Corrosion Condition of the Concrete Reinforcing Steel: Relationship between the Galvanic and the Corrosion Currents', Sensors, 9.11 (2009), 8391–98 <https://doi.org/10.3390/s91108391>
- Pérez-Ràfols, Clara, Núria Serrano, Cristina Ariño, Miquel Esteban, and José Manuel Díaz-Cruz, 'Voltammetric Electronic Tongues in Food Analysis', Sensors (Switzerland), 19.19 (2019) <https://doi.org/10.3390/s19194261>
- Ramón, José Enrique, José Manuel Gandía-Romero, Manuel Valcuende, and Román Bataller, 'Integrated Sensor Network for Monitoring Steel Corrosion in Concrete Structures', VITRUVIO - International Journal of Architectural Technology and Sustainability, 1.1 (2016), 65 <https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2016.5191>
- Ramón Zamora, J.E., 'Sistema de Sensores Embebidos Para Monitorizar La Corrosión En Estructuras de Hormigón Armado . Fundamentos , Metodología y Aplicaciones', Ph.D. Thesis, Universitat Politècnica de València, València, Spain, 2018
- Todeschini, R., 'Data Correlation, Number of Significant Principal Components and Shape of Molecules. The K Correlation Index', Analytica Chimica Acta, 348.1–3 (1997), 419–30 <https://doi.org/10.1016/S0003-2670(97)00290-0>
- Tutti, K., Corrosion of Steel in Concrete (Stokholm: Swedish Cement and Concrete Institute, 1982)
- Winquist, Fredrik, Peter Wide, and Ingemar Lundström, 'An Electronic Tongue Based on Voltammetry', Analytica Chimica Acta, 357.1–2 (1997), 21–31 <https://doi.org/10.1016/S0003-2670(97)00498-4>

ESTUDIO TEÓRICO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SENSORES AISLADOS EN EL ANÁLISIS DE LA CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

THEORETICAL STUDY OF USING ISOLATED SENSORS FOR CORROSION ANALYSIS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Josep Ramon Lliso Ferrando
Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, España. E-mail: jollife2@arq.upv.es
Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, Spain. E-mail: jollife2@arq.upv.es

Juan Soto Camino
Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, España. E-mail: juansoto@quim.upv.es
Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, Spain. E-mail: juansoto@quim.upv.es

Miguel Ángel Blanco Duarte
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. E-mail: mibladua@edificacion.upv.es
School of Building Engineering ; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, Spain. E-mail: mibladua@edificacion.upv.es

Abstract

The corrosion phenomena can reduce the service life of the reinforced concrete structures. Because of this, and due to the difficult detection of this damage, last years, several techniques and tools have been designed to analyse the corrosion previously it becomes dangerous for the structural safety. However, the main problem of the on-site corrosion measurements is the needed access to structures. Many times, it is not possible to get access to some structural pieces because they are buried or submerged. Moreover, in all other cases, the pieces have protective coverings or coatings must be removed (aesthetic damage).

For all these reasons, the last innovations in the corrosion analysis field are oriented to designing a sensor network can be used for corrosion monitoring without needed access. Nevertheless, the sensor configuration is still a conflictive point. Most sensors used nowadays are composed by isolated pieces which can be used for analysing the corrosion due to the local conditions (produced by the conditions near the sensor). However, in this study it is proved theoretically the sensors must not be isolated to the rebars to take part in the macrocell processes. In addition, an experimental program is presented for studying the different sensors configurations (connected/not connected).

Keywords
Reinforced Concrete Corrosion, Corrosion Monitoring, Partially Submerged Concrete Columns.

Introducción

La corrosión es un daño que afecta gravemente la capacidad estructural y el periodo de vida útil de las estructuras de hormigón armado. En numerosos trabajos ya se ha demostrado el riesgo que implica para estas estructuras y su complicada detección. La corrosión se desarrolla internamente en las armaduras y se hace visible en el exterior de las piezas una vez el daño es considerable. Este fenómeno se aprecia por las manchas de óxido o fisuras próximas a la zona corroída. La tardía detección de la corrosión conduce a llevar a cabo reparaciones que buscan mitigar el daño, pero en la mayoría de los casos, son actuaciones que se tienen que repetir periódicamente (Garcés Terradillos, Climent Llorca, and Zornoza Gómez 2008; Gonzalez et al. 1995). Debido a esto, en los últimos años, la mejora de las técnicas y aparatos de medida in situ se ha convertido en una herramienta fundamental para la detección de la corrosión en fases iniciales, y así prevenir daños graves de antemano. Sin embargo, uno de los inconvenientes de la medida in situ es su accesibilidad, ya que es imposible llevar a cabo medidas en casos de elementos aislados o sumergidos. En el resto de los casos, muchas veces es necesario retirar recubrimientos y protecciones con el grave daño estético y funcional que se puede generar. Un ejemplo de esta herramienta es el GalvaPulse® (Ramon Zamora 2018).

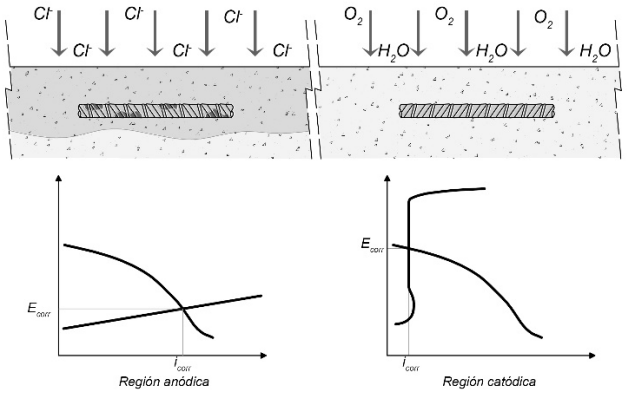
Por ello, la mayoría de las investigaciones que se llevan a cabo en la actualidad se centran en la búsqueda de sensores integrados durante el amasado en las estructuras de hormigón armado para la monitorización de los fenómenos de la corrosión. Actualmente es posible encontrar sensores para la detección y análisis del frente de avance de los agentes agresivos, como el CorroWatch®; o sensores para el análisis de las propiedades del hormigón, como los sistemas PCB. Sin embargo, los sensores más completos son aquellos directamente destinados a la medida del fenómeno de la corrosión, como SensCore® o 900 Concrete Multi-Depth Sensor®. En el caso de este tipo de sensores, la mayoría se trata de elementos aislados, sobre los que se lleva a cabo la medida (Ramon Zamora 2018).

En el Laboratorio de Electroquímica de la UPV, durante los últimos años, se ha desarrollado y patentado un sistema de medida autónomo de la corrosión sobre las armaduras embebidas en hormigón. (WO-2016/177929-A1). Esta tecnología ya ha sido implementada en diferentes obras. A diferencia de los sensores desarrollados hasta la fecha, estos no son elementos aislados del armado, sino que participan de las corrientes de macrocelda en las que se ve implicada la región más cercana al sensor.

En este trabajo se analiza teóricamente la diferencia que se genera en el estudio de sensores que permanecen aislados de la armadura o que se mantienen en contacto eléctrico con esta y participan del fenómeno de la macrocelda. En primer lugar, este estudio se centrará en un ejemplo de dos electrodos en disolución, y posteriormente, en un caso real. La última parte de este trabajo es una propuesta de plan experimental mediante elementos estructurales a escala para el análisis práctico de la diferencia entre sensores conectados y aislados de la armadura.

Definición Teórica de la Macrocelda de Corrosión

Para poder comprender el concepto de corrosión de macrocelda, se debe analizar en primer lugar el electrodo (sensor en este caso) embebido en hormigón y aislado eléctricamente. En la Imagen 1 se puede apreciar dicho caso de estudio para diferentes situaciones.



Introduction

The corrosion phenomena affects seriously the structural behaviour and service life of the reinforced concrete structures. Several works have proved the risk of corrosion in these structures and how difficult is its analysis. The corrosion develops internally over the rebars and, it is possible to appreciate its damage outside the pieces once the phenomenon is very advanced. Rust stains or cracks are the most common damages produced by corrosion. The late corrosion detection drives the designers to perform repairs trying to reduce the consequences of this damage, and they usually must be repeated periodically (Garcés Terradillos et al. 2008; Gonzalez et al. 1995). Because of that, last years, on-site corrosion measurements have been designed to let the corrosion detection during the initial period trying to prevent serious damages in advanced. However, one of the most important disadvantages on-site measurements presents is the needed access. It is impossible to perform on-site measurements in submerged or buried pieces. Moreover, in all other cases, there are protective coverings or coatings that must be removed, affecting the aesthetic aspect of the structures. One example is GalvaPulse® system (Ramon Zamora 2018).

Thus, most research works performed nowadays are focused on an integrated corrosion sensor network can be used for corrosion monitoring without needed access. These elements can be embedded during the casting process. Currently, it is possible to find several sensors used for detecting the aggressive agents' presence (chlorides or CO_2), as Corrowatch®. Other sensors are used for studying the concrete properties in order to link the material characteristics and the corrosion risk, as PCB systems. However, the most important sensors are the ones can measure the corrosion phenomenon, as SensCore or 900 Concrete Multi-Depth Sensor. The latter or corrosion sensors are usually composed by isolated pieces where the corrosion measurement is performed through different electrochemical techniques (Ramon Zamora 2018).

During last years, an autonomous sensor network system for corrosion analysis has been designed, tested, and patented (WO-2016/177929-A1) by the Electrochemical Laboratory research group in UPV. This tool has been implemented in real works. Unlike the sensors developed till nowadays, the sensors used by this system are not isolated pieces. They are electrically connected to the rebars, so they can participate in the macrocell corrosion processes.

In this study, the difference between isolated sensors or electrically connected sensors is analysed theoretically. The former does not take part in the macrocell processes, the latter do. First of all, the analysis focuses on one example using electrodes. Secondly, the analysis will be performed over two real situations. The last part of this study includes an experimental plan proposal where several scaled columns have been manufactured to study the difference between isolated sensors and electrically connected sensors.

Macrocell corrosion processes: theoretical definition

To understand the macrocell corrosion concept, the behaviour of one single electrode (sensor) must be analysed. In this case the electrodes are embedded in a concrete cement matrix. In Image 1 it is possible to see two typical situations.

The equilibrium situation of each electrode is defined by the anodic and cathodic reactions take part in the electrode's surface. These kinetic and electrochemical interactions are defined by the Evans diagrams (Bertolini et al. 2013). In this case, where sensors are isolated, the corrosion intensity measured in each one is defined by the local conditions (temperature, humidity, aggressive agents' presence, etc.). This parameter is defined as local corrosion intensity ($i_{corr,local}$). The sensor (A-Active) is in a chloride-contaminated zone, so it is under active corrosion. However, the sensor (P-Pasive) is in a non-contaminated area, so the rebar is protected by the passive layer due to there are not aggressive agents close to the reinforcements. These characteristics stablish the kinetic (corrosion) and electrochemical (potential) conditions according to the Evans diagrams or polarization curves.

Conversely to this description, the reinforcements embedded in concrete are not composed by small, isolated pieces, they create a network where all rebars are electrically connected. To continue, Image 2 must be analysed.

El estado de cada uno de los electrodos ejemplificados anteriormente se define por las reacciones anódicas y catódicas que se desarrollan en su superficie, descritas mediante los diagramas de Evans (Bertolini et al. 2013). Para el caso de dos sensores aislados completamente, la intensidad de corrosión de cada uno de dichos elementos corresponde a la intensidad de corrosión local ($i_{corr,local}$). Esta intensidad refleja el estado del sensor como consecuencia del entorno cercano (local). En el caso del sensor (A-Activo), como se puede ver, se encuentra en una zona con presencia de cloruros, y, por tanto, bajo una corrosión activa. Sin embargo, el sensor (P-Pasivo) situado en una región catódica, está en una zona de la estructura donde los cloruros no han alcanzado el refuerzo. En este caso, el electrodo se encuentra en un estado pasivo. Estos rasgos de cada uno de los electrodos determinan el estado cinético (corrosión) y electroquímico (potencial) demostrado mediante los diagramas de Evans o curvas de polarización.

Al contrario de lo demostrado en este ejemplo, el armado de las estructuras de hormigón no está constituido por elementos aislados, sino que se trata de un entramado continuo. En este caso, todas las armaduras están conectadas eléctricamente. Para continuar con el desarrollo teórico anterior, en este caso se asumirá que los dos electrodos se encuentran conectados eléctricamente (V. Imagen 2).

Debido a esta conexión, y la diferencia electroquímica de ambos electrodos, tal y como definió Volta a principios del S. XIX, se genera una pila electroquímica que modifica el comportamiento de cada sistema (McCafferty 2010). Para el caso descrito anteriormente, se genera una intensidad de corrosión de macrocelda ($i_{corr,macro}$), en la que la zona anódica, además de la corrosión generada por la existencia de microánodos en el entorno del electrodo, debe abastecer de electrones la región catódica. Esta demanda de electrones se produce porque en el cátodo, la presencia de oxígeno y agua propician la reducción del oxígeno sobre el metal con el consiguiente consumo de electrones. Este fenómeno incrementa la corrosión en la zona anódica y genera un mayor estado de estabilidad y pasividad de la región catódica.

Este ejemplo de corriente de macrocelda es la situación que se produce en el armado de las estructuras de hormigón. En estos elementos es posible encontrar zonas con diferentes potenciales electroquímicos (estado activo y pasivo). Por tanto, las armaduras se encuentran condicionadas no solo por el entorno electroquímico que las rodea, sino también por las condiciones electroquímicas de las regiones cercanas.

Este hecho demuestra la necesidad de hacer partícipes a los sensores de las corrientes de macrocelda. De este modo, el sensor reflejará verdaderamente lo que ocurre en el armado cercano y permitirá precisar con mayor fiabilidad el estado de la armadura.

Relación entre Sensores y Procesos de Macrocelda en Estructuras de Hormigón Armado

En este apartado, se analizan dos casos reales. En cada situación se ha utilizado una configuración distinta de sensores: eléctricamente conectados o aislados. (Imágenes 3 y 4)

Mediante estos esquemas ha sido posible averiguar cómo se comportan para cada caso los sensores en función de la configuración (conectado/no conectado) que se adopte.

Plan Experimental

Materiales

En el laboratorio del Instituto Universitario de Ciencia y Tecnología del hormigón (ICITECH-UPV) se fabricaron dos pilares a escala tal y como muestra la Imagen 5.

Como se puede apreciar, existe un armado general y una serie de elementos aislados que conforman la red de sensores descrita anteriormente. La dosificación utilizada y la resistencia característica del hormigón utilizado para este trabajo se recoge en la Tabla 1.

Tabla 1. Dosificación fabricada (Kg/m^3)
Table 1. Manufactured dosage (Kg/m^3)

Cemento/ Cement	Agua/ Water	Superplastificante/ Superplasticizer	Arena/ Sand (0/4)	Grava/ Gravel (4/12)	f_{ck}/ f_{ck} (MPa)
307	184	1.85	1438	491	30.67

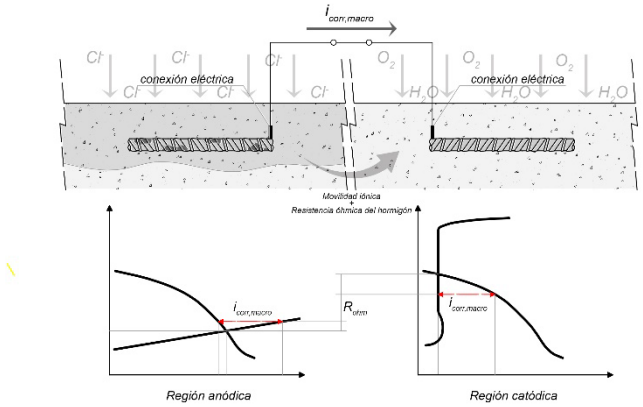


Imagen 2. Electrodos conectados eléctricamente. Image 2. Electrodes connected electrically.

Due to there is an electrical connection between sensors, and they have different electrochemical condition, as was defined by Volta in XIX century, an electrochemical battery is created modifying the behaviour of each system (A and P). In this case, there is a macrocell corrosion intensity ($i_{corr,macro}$) between anodic and cathodic regions. This current is originated due to anode must give electrons to the cathodic region. The electrode demand is produced by the oxygen reduction originated over the cathode because of the oxygen and humidity presence. This phenomenon increases the corrosion activity in the anodic region and increases the stability of the passive layer in the cathodic area.

This example defines the real situation produced over the rebars in reinforced concrete structures. In these elements it is possible to find areas under different electrochemical process (active and passive regions). Thus, the rebar condition is not defined just by the local condition, so the electrochemical conditions of the close regions must be considered too.

This fact shows the need corrosion sensors should take part in the macrocell processes of reinforcements. In this case, the sensors will work in the same way the surrounding reinforcements and, it will get more accurate corrosion measurements and better service life predictions.

Relation between Sensors and Macrocell Processes in Reinforced Concrete Structures

In this section, two real cases are analysed. In each situation corrosion sensors are used in two different configurations: electrically connected or isolated (Images 3 and 4).

The diagrams prove the different behaviour each configuration can suffer depending on using sensors electrically connected or not.

Experimental Plan

Materials

In the laboratory of the Institute of Science and Technology of Concrete (ICITECH-UPV) two columns were manufactured, as described in Image 5.

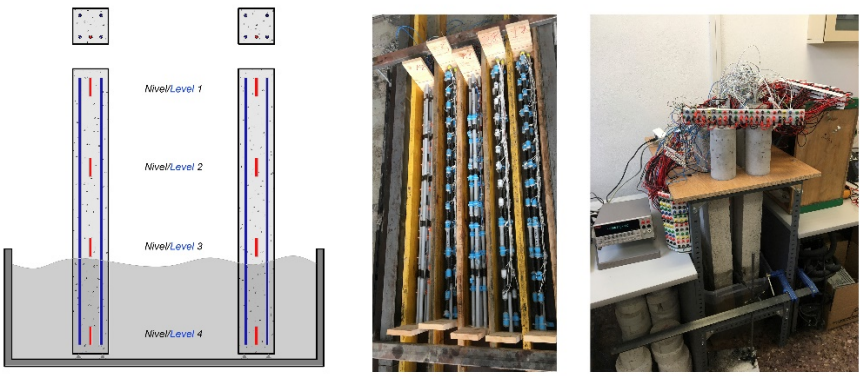


Imagen 5. Esquema pilares: armaduras (azul); sensores (rojo). Image 5. Pillars diagram: reinforcement (blue); sensors (red).

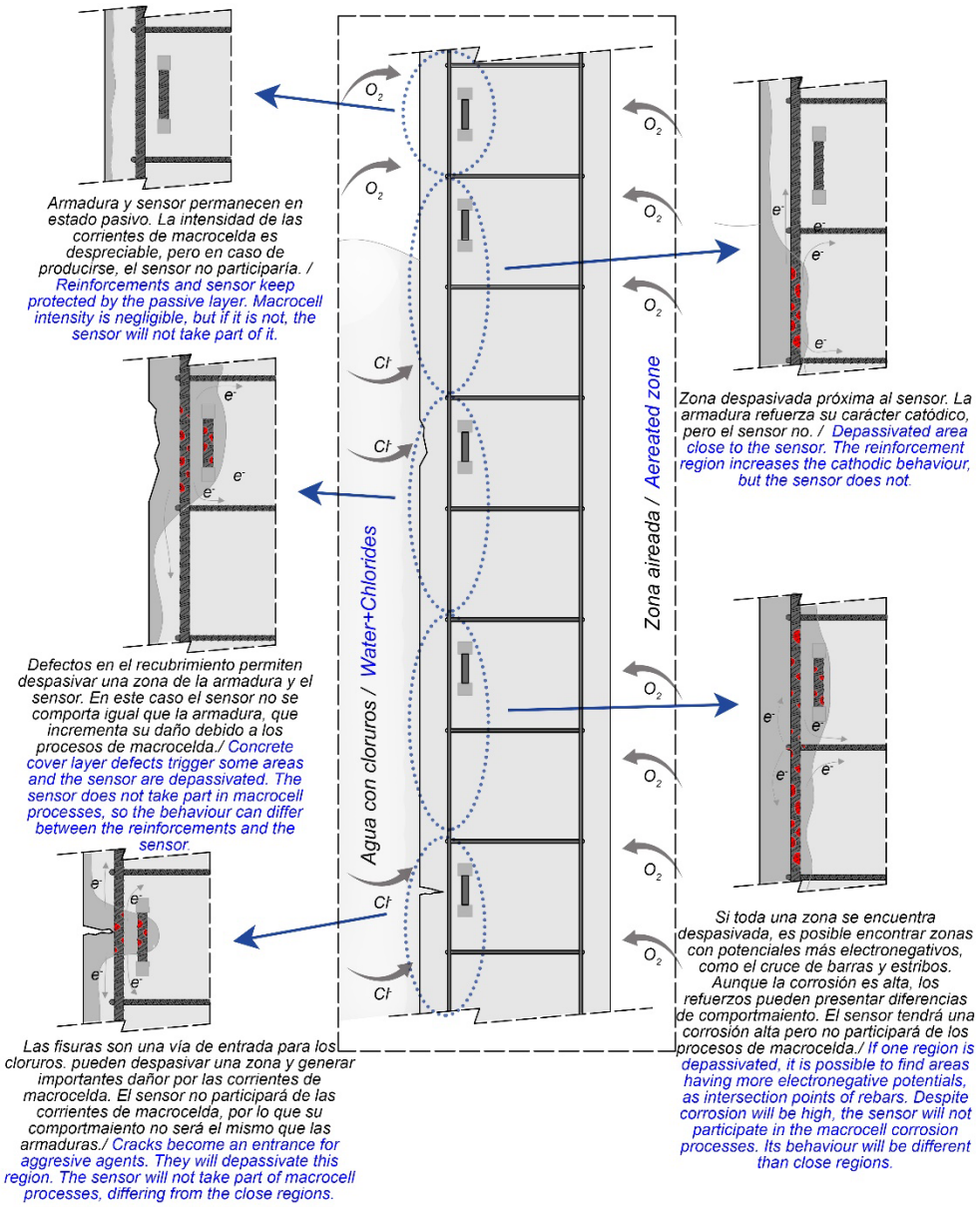


Imagen 3. Esquema de un muro sometido a dos exposiciones diferentes (izquierda: zona con cloruros; derecha: zona aireada). En cada tramo se plantea un supuesto de comportamiento en el que el sensor no está conectado al refuerzo. Zona 1, el sensor y la armadura están en estado pasivo. Las corrientes de macrocelda son despreciables. Zona 2, una zona próxima del armado se encuentra despasivada. El entorno del sensor participa en los procesos de macrocelda y aumenta su comportamiento catódico, pero el sensor no. Zona 3, la presencia de defectos puede propiciar la despasivación de una zona, junto con el sensor. El armado incrementa su riesgo por la acción de las macroceldas, sin embargo, el sensor no se comporta del mismo modo. Zona 4, cuando todo un tramo se ha despasivado, es posible que existan zonas con mayor riesgo, como la intersección de barras. Estas generan macroceldas en las que el sensor no participa. Zona 5, las fisuras generan una despasivación parcial, que se acentúa con la presencia de macroceldas. En este caso, el sensor no sufre de estos procesos. *El sensor y la armadura están tienen el mismo recubrimiento.

Image 3. Diagram of a wall subjected to two different exposures (left: chloride zone; right: aerated zone). This case is like structures located in marine environments. In each section, a behavioral assumption is made in which the sensors are not connected to the reinforcement. Zone 1, the sensor, and the reinforcement are in passive state. Macrocell currents are negligible. Zone 2, a nearby region of the reinforcement is depassivated. The sensor surrounding areas participates in the macrocell processes and increase their cathodic behavior, but the sensor does not. Zone 3, the presence of defects can lead to the depassivation of a zone, together with the sensor. The arming increases its risk due to the action of the macrocells, however, the sensor does not behave in the same way. Zone 4, when a whole section has been depassivated, it is possible that there are areas with higher risk, such as the intersection of bars. These generate macrocells in which the sensor does not participate. Zone 5, the cracks generate a partial depassivation, which is accentuated by the presence of macrocells. In this case, the sensor does not suffer from these processes. Both, sensor and reinforcements have the same concrete conver layer.

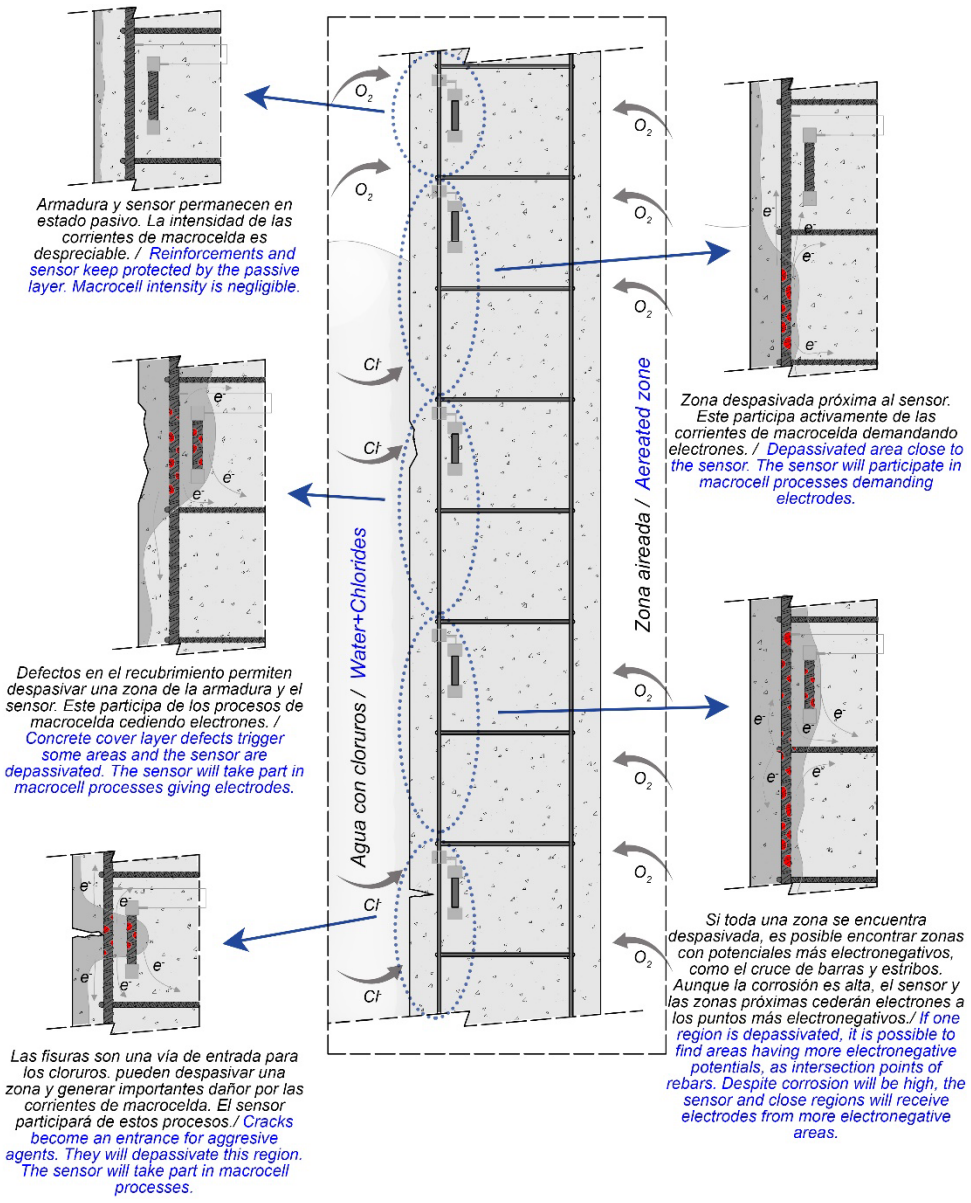


Imagen 4. Esquema de un muro sometido a dos exposiciones diferentes (izquierda: zona con cloruros; derecha: zona aireada). En este caso los sensores se encuentran conectados a la armadura, y, por tanto, participan de las corrientes de macrocelda que se producen en su entorno más cercano. Los supuestos que se describen en la figura son; Zona 1, tanto sensor como armadura están en estado pasivo y las corrientes de macrocelda son despreciables. Zona 2, la despasivación de un tramo próximo genera corrientes de macrocelda. Tanto el sensor como la zona próxima incrementan su comportamiento catódico. Zona 3, una zona se ha despasivado junto con el sensor. Las corrientes de macrocelda afectan por igual tanto a sensor como armadura. Zona 4, en caso de existir una zona despasivada totalmente, si existen zonas más electronegativas, el sensor se comportará igual que el tramo de armadura más próximo, participando de las corrientes de macrocelda. Zona 5, las fisuras son vías de acceso de agentes agresivos y dañan tanto al sensor como la armadura. Ambos se comportarán de la misma manera en los procesos de macrocelda. *El sensor y la armadura tienen el mismo recubrimiento.

Image 4. Diagram of a wall subjected to two different exposures (left: chloride zone; right: aerated zone). In this case, the sensors are connected to the reinforcement and, therefore, they participate in the macrocell processes that occur in their immediate environment. The assumptions described in the figure are; Zone 1, both sensor and reinforcements are in passive state and macrocell currents are negligible. Zone 2, depassivation of a nearby section generates macrocell currents. Both the sensor and the close region increase their cathodic behavior. Zone 3, a zone is depassivated together with the sensor. Macrocell currents affect both sensor and armature equally. Zone 4, in the case of a totally depassivated zone, if there are more electronegative zones, the sensor will behave the same as the nearest reinforcement section, participating in the macrocell currents. Zone 5, cracks are entrance for aggressive agents and damage both the sensor and the rebars. Both will behave in the same way in the macrocell processes. Both, sensor and reinforcements have the same concrete cover layer.

Exposición

Tras 28 días en condiciones de curado, los dos pilares fueron parcialmente sumergidos en una disolución 0.5 M de NaCl, recreando una situación similar a lo que ocurriría en una estructura portuaria o cercana al mar. Durante tres meses, los sensores se han mantenido aislados eléctricamente del armado general de la estructura, configuración descrita en la Imagen 3, en la que se encuentran aislados eléctricamente en todo momento. Durante este periodo se ha monitorizado el potencial de cada uno de los electrodos y la corrosión local ($i_{corr,local}$) mediante la técnica LPR descrita en la norma UNE 112072 (AENOR 2011). También se ha analizado el valor de las corrientes de macrocelda ($i_{corr,macro}$) entre el armado general y los sensores mediante un ZRA (Zero Resistance Ammeter).

Resultados

En la Imagen 6 es posible apreciar el resultado de este estudio para uno de los pilares analizados.

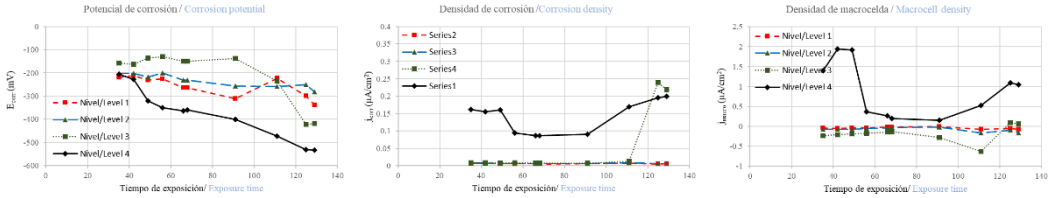


Imagen 6. Evolución del potencial de corrosión, de la densidad de corrosión y la densidad de macrocelda en función de cada nivel para el pilar 1. Image 6. Average value for: corrosion potential, corrosion density and macrocell currents as a function of each level in pillar 1.

Los valores obtenidos para cada uno de los parámetros analizados muestran el diferente comportamiento de los sensores como respuesta del entorno en el que se encuentran. Los dos sensores situados en zona aireada apenas muestran un comportamiento diferenciado debido a que las condiciones son prácticamente similares. Un ambiente con baja humedad y aireado permiten que el sensor se encuentre en estado pasivo.

El sensor situado en la zona sumergida muestra un comportamiento totalmente diferente. Las primeras medidas indican una fase de despasivación, con una caída del potencial hacia valores negativos y el incremento de las corrientes de corrosión y macrocelda. Esto se debe a que el ambiente donde el sensor se encuentra es totalmente diferente al resto. La presencia de humedad alta y la posible penetración de los cloruros convierten esta zona en más vulnerable, tal y como indica la medida sobre los sensores.

El sensor situado en la zona de "mareas" inicialmente se asemeja a los sensores en estado pasivo, pero las últimas medidas indican una tendencia hacia un incremento de la actividad cinética (corrosión). Esta zona presenta ciclos de humedad secado, la presencia de oxígeno es alta y de humedad también, lo que propicia que se genere un entorno favorable para la corrosión. Esto se refleja en un aumento de la intensidad de corrosión, por encima del caso del sensor sumergido.

Conclusiones

En este trabajo se ha demostrado la diferencia de comportamiento entre un sistema de sensores aislado y conectado a la armadura a nivel teórico. Además, se ha introducido un trabajo experimental en el que se han analizado una serie de sensores en dos pilares parcialmente sumergidos.

Los resultados obtenidos para el caso en el que los sensores se encuentran aislados demuestran su eficacia para detectar zonas potencialmente susceptibles de sufrir fenómenos de corrosión. Sin embargo, para el estudio más detallado y preciso, se necesita que la red de sensores empleada actúe como pate del armado y participe de las corrientes de macrocelda que se pueda ver afectado.

El siguiente paso en este trabajo experimental debe ser el estudio del mismo caso sobre una red de sensores que participe activamente de los procesos de macrocelda. Este hecho permitirá apreciar verdaderamente la influencia en el análisis de la corrosión según el caso empleado y descrito teóricamente en este trabajo.

As it is possible to see, there is a general reinforcement and several sensors isolated, creating a corrosion sensor network as described below. Table 1 shows the dosage used and the compressive strength at the age of 28 days.

Exposition

After 28 days in curing conditions, the pillars were partially submerged in 0.5M NaCl solution, generating a similar situation of a structure located close to a marine environment. For three months, the sensors have been electrically isolated of the reinforcements as the configuration described in Image 3. During this period, the potential and local corrosion ($i_{corr,local}$) have been monitored (LPR technique has been used, described in UNE 112072 (AENOR 2011)). The macrocell corrosion intensity ($i_{corr,macro}$) between general reinforcement and each sensor has been analysed using a ZRA (Zero Resistance Ammeter).

Results

Image 6 shows the monitoring results for each parameter has been analysed.

The values have been obtained for each parameter show the different behaviour of sensors depending on the surrounding conditions. For pillar 1, the sensors 1-2 located in aerated zones show similar results due they have similar conditions (low humidity conditions, oxygen availability and non-aggressive agents).

The sensor located in the submerged area shows a completely different performance. The first monitoring period shows the depassivation of this piece (electrochemical potential drops and kinetic activity increases). This fact is produced by the presence of aggressive agents and high moist content near the reinforcements. This zone becomes more vulnerable.

The sensor located in the tidal zone (sensor level 3) started showing a similar performance than sensors 1 and 2. However, last measurements indicate these pieces have initiated a corrosion process. This area is submitted to wet-dry cycles and the oxygen availability is high, generating favourable conditions for corrosion processes. This fact can be appreciated due to the corrosion intensity rise, higher than the submerged sensor (level 4).

Conclusions

This study has proved the different behaviour sensors can show depending on the configuration can be adopted (connected or isolated sensors). In addition, an experimental work has been introduced, where several isolated sensors have been analysed in two partially submerged columns.

The results obtained far away for isolated configuration show this mechanism can be useful for detecting zones under corrosion risk. However, for more accurate analysis, it is necessary to use a corrosion sensor network connected to the rebars, in order it takes part of the macrocell corrosion processes.

Next step in this study should be analysing the same experimental case when sensors are electrically connected to the reinforcements. This fact would let compare results between two configurations have been explained theoretically in this work.

Agradecimientos/Aknowledgements

The authors would like to express their gratitude to the Universitat Politècnica de València for the pre-doctoral scholarship granted to Josep Ramon Lliso Ferrando (FPI-UPV-2018). To ICITECH-UPV institute for the support in its laboratories.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- AENOR. 2011. “UNE 112072. Deter Minación de La Velocidad de Corrosión de Armaduras En Laboratorio Mediante Medida de La Resistencia a La Polarización.”
- Bertolini, L., B. Elsener, P. Pedeferri, E. Redaelli, and R. Polder. 2013. *Corrosion of Stell in Concrete: Prevention, Diagnosis and Repair*. edited by W. VCH.
- Garcés Terradillos, Pedro, Miguel Ángel Climent Llorca, and Emilio Zornoza Gómez. 2008. *Corrosión de Armaduras En Estructuras de Hormigón Armado*.
- Gonzalez, J. A., C. Andrade, C. Alonso, and S. Feliu. 1995. “Comparison of Rates of Geenral Corrosion and Maximum Pitting Penetration on Concrete Embedded Steel Reinforcements.” *Cement and Concrete Composites* 25(2):257–64.
- McCafferty, E. 2010. *Introduction to Corrosion Science*. New York: Springer Science & Business Media.
- Ramon Zamora, José Enrique. 2018. “Sistema de Sensores Embebidos Para Monitorizar La Corrosión En Estructuras de Hormigón Armado . Fundamentos , Metodología y Aplicaciones.”

ESTUDIO DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN EN ESTADO NO ESTACIONARIO (D_{NSS}) DE DIFERENTES HORMIGONES MEDIANTE EL ENSAYO prCEN/TS 12390-11

NON-STEADY STATE CHLORIDE DIFFUSION COEFFICIENT ANALYSIS IN SEVERAL CONCRETE MIX DESIGNS THROUGH THE prCEN/TS 12390-11 TEST METHOD

Josep Ramon Lliso-Ferrando
Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, España. E-mail: jollife2@arq.upv.es
Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, Spain. E-mail: jollife2@arq.upv.es

Manuel Valcuende Payá
Dpto. Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. E-mail: mvalcuen@csa.upv.es
Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, Spain. E-mail: mvalcuen@csa.upv.ess

Isabel Gasch
Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, España. E-mail: igasch@mes.upv.es
Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, Spain. E-mail: igasch@mes.upv.es

Abstract

The main cause of early failure in reinforced concrete structures is the corrosion phenomenon. This damage is caused due to the presence of aggressive agents near the rebars, as the chlorides. These ions are present in marine environments or zones where de-icing salts are used, so it is very common they penetrate in the structures located in these areas triggering the corrosion.

Due to this fact, it is very important using concrete compositions able to reduce or stop the chlorides' penetration through the porous structure. To analyse the properties of these materials against the chlorides' progress it is necessary using standard methods reliable and useful for predicting the behaviour of the materials under determined exposures. One of these standards is the prCEN/TS 12390-11 test method. This measurement technique is still under development, but it has been analysed in previous works. The results obtained showed the need of using more defined exposure conditions. This work continues the analysis of this standard test method, but it focuses on the ponding exposure condition. For this purpose, several concrete types are analysed using different ponding configurations. The results obtained are commented and compared.

Keywords
Reinforced Concrete Durability, Chloride Content Analysis in Concrete, prCEN/TS 12390-11, Apparent Chloride Diffusion Coefficient.

Introducción

La principal causa de fallo prematuro de las estructuras de hormigón armado es el fenómeno de la corrosión (Nasser et al. 2010). Sin embargo, este material, bajo la mayoría de las condiciones, si se encuentra bien diseñado y ejecutado, presenta una excelente durabilidad (Berrocal, Lundgren, and Löfgren 2016). Esto se debe a que la propia matriz cementante actúa como protección de las armaduras gracias a la alta alcalinidad de su disolución de poro. Estas condiciones generan una fina capa de óxidos sobre la armadura, densa y muy estable que reduce la movilidad iónica y, por tanto, la corrosión es prácticamente negligible. Esta capa no se mantiene a lo largo del tiempo, sino que, frente a descensos de la alcalinidad del entorno, puede volverse inestable, desencadenando la despasivación de las armaduras (Bertolini et al. 2013; Garcés Terradillos, Climent Llorca, and Zornoza Gómez 2008). Las principales causas de esta caída de pH son la carbonatación y la penetración de cloruros.

Es este último caso el más problemático, ya que la corrosión por picaduras puede generar pérdidas de sección importantes en la armadura (Torres-luque et al. 2014). El ion cloruro puede encontrarse presente en las proximidades de la armadura por diferentes razones, la más común y peligrosa, es la penetración del cloruro desde el exterior, por el ambiente donde se encuentran las estructuras. Ambientes marinos o zonas de uso de sales de deshielo son los medios más agresivos. También es posible, aunque en menor medida, el ingreso del cloruro durante el amasado, debido al uso de agua contaminada o productos que contienen este mineral (Angst et al. 2009).

Es por este motivo que se hace de vital importancia la utilización de hormigones capaces de evitar o dificultar el acceso del ion cloruro desde el ambiente hasta las armaduras. Este hecho permitirá incrementar el periodo de vida útil de las mismas.

Para poder comprobar la resistencia de los diferentes tipos de hormigón a la penetración del ion cloruro existen varios métodos de ensayo que se centran en ello. Todos analizan el coeficiente de difusión del material, pero se puede distinguir entre:

-coeficiente de difusión en estado estacionario D_{ss}, basado en el análisis del transporte iónico del material (Castellote, Andrade, and Alonso 2001);

-coeficiente de difusión en estado no estacionario, D_{nss}, que considera la interacción entre el cloruro y los diferentes componentes de la matriz cementante (Castellote et al. 2001).

Es este último coeficiente el más representativo ya que muestra realmente el comportamiento del material a la penetración del agente agresivo. Debido a esto, existen numerosos métodos de ensayo destinados al análisis de este parámetro y del contenido de cloruros en el hormigón. Un ejemplo de ello son los métodos basados en espectrometría de rayos X (Dhir, Jones, and Ahmed 1990), muy eficaces pero costosos económicamente. Los métodos basados en técnicas multirrégimen presentan el inconveniente de los largos tiempos de ensayo, que se incrementan sobre todo cuando se analizan hormigones de altas prestaciones, como el método UNE 83987(AENOR 2009). Una alternativa bastante eficaz son los métodos acelerados, como la migración de cloruros a través de la probeta (NTBuild 492 (NORDTEST; Nordic Cooperation. 1999)). En este caso, el estudio óptimo para el análisis del coeficiente de difusión no estacionario son las técnicas basadas en la difusión unidireccional del cloruro, como define la norma NTBuild 443 (NORDTEST; Nordic Cooperation. 1995) o la norma UNE-EN 12390-11 (AENOR 2019), ahora también recogida en un borrador de la prCEN 12390-11 (Technical Committee CEN/TC 104 2009). En anteriores trabajos ya se ha entrado en contacto con esta normativa, la cual todavía se encuentra en fase de elaboración, pero cuyo primer borrador existente propone diferentes procedimientos de exposición de las muestras. En estos estudios ya se demostró el error al que conduce este hecho y la necesidad de reducir las variables que se pueden suceder (Lliso Ferrando et al. 2020).

En este trabajo se analiza el coeficiente D_{nss} mediante la exposición por “ponding” o columna de agua. La normativa no recoge el valor de la altura de columna, sino que se determina un valor mínimo (12.5 cm). En este caso, se realiza el estudio para dos valores de columna 12.5 y 35 cm. Para ello, se estudian ambas configuraciones sobre cinco hormigones, con diferentes propiedades y características y se analizan los resultados obtenidos.

Introduction

The main cause of failure in reinforced concrete structures is the corrosion phenomenon (Nasser et al. 2010). However, this material under most conditions, if it is well-designed and executed, it shows an excellent durability (Berrocal et al. 2016). This results from cement matrix work as protection for the rebars due to the high alkalinity of the pore solution. This situation generates a very thin layer over the rebars composed by oxides, which is very dense and stable, and it reduces the ionic mobility. The corrosion values in this case are negligible. This layer is not maintained over time, and it can become unstable under alkalinity drops of the porous solution present in the cement matrix. This fact triggers the active corrosion over the rebars in reinforced concrete structures (Berrocal et al. 2016). The main causes of the pH drop are the carbonation process and the chloride ingress.

The latter is the most dangerous case due to pitting corrosion can cause important section loss in the rebars quickly (Torres-luque et al. 2014). The chloride ion can be present in the cement matrix due to several reasons; the main cause is the penetration of this ion from the atmosphere where the structures are located. Marine environments or zones where de-icing salts are used are the most aggressive zones. Less frequent, it is possible to introduce the chlorides during the casting process if water or aggregates used are contaminated (Angst et al. 2009).

Due to this fact, it is very important using concrete mixes able to avoid or reduce the chloride penetration from the environments where the structures are located. This matter will let increasing the service life of the structures built using this material.

There are several standard methods for analysing the resistance of the reinforced concrete to the chloride penetration. All these test methods focus on the diffusion coefficient of the material (D), but two types can be distinguished:

-steady state diffusion coefficient, D_{ss}, based on the ionic transport of the material (Castellote et al. 2001);

-non-steady state diffusion coefficient, D_{nss}, which takes into account the interaction between chlorides and cement matrix components (Castellote et al. 2001).

The latter is the most representative coefficient since it shows the real behaviour of this material during the penetration of chlorides. Due to this fact, there are several test methods dedicated to the analysis of this parameter and the chloride content analysis. In the bibliography it is possible to find examples using X-ray spectrometry techniques (Dhir et al. 1990), very precise but very expensive. The methods based on D_{ss} analysis show the inconvenience they take too much time, especially when high quality concretes are analysed; one example of these methods is UNE 83987(AENOR 2009). An alternative that is possible to use is the accelerated methods, which are very effective, as chloride migration through the test specimen (NTBuild 492(NORDTEST; Nordic Cooperation. 1999)). In this case, the optimum option for the non-steady state chloride diffusion is using tests methods based on the unidirectional diffusion, as NTBuild 443 (NORDTEST; Nordic Cooperation. 1995) or UNE-EN 12390-11 (AENOR 2019). The latter is described in the prCEN 12390-11 (Technical Committee CEN/TC 104 2009) draft too. In previous works the prCEN 12390-11 (Technical Committee CEN/TC 104 2009) was analysed (Lliso Ferrando et al. 2020). These studios revealed the mistake produced by the exposure conditions possibilities and the variables can appear during the test performance.

In this paper, the D_{nss} coefficient is analysed using the ponding exposure condition. The prCEN 12390-11 (Technical Committee CEN/TC 104 2009) test method doesn't indicate the value for the water column, but a minimum value is determined (12.5 cm). In this case, the test has been performed using two configurations for ponding exposure: 12.5 and 35 cm. To that end, both configurations have been studied in five concrete types having different properties and characteristics. The results obtained have been analysed and compared.

Experimental Plan

Materials

In order to compare the D_{nss} coefficient using the prCEN 12390-11(Technical Committee CEN/TC 104 2009) test method, 5 concretes were manufactured. The dosage used in each type is described in Table 1.

Plan Experimental

Materiales

Para poder acometer el estudio del coeficiente D_{nss} sobre varios materiales con diferentes características, se fabricaron 5 hormigones cuya dosificación se describe en la tabla 1:

Estos hormigones se fabricaron en el laboratorio de materiales de construcción de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación ETSIE-UPV (C35, C50 y C90) y los laboratorios del Instituto Universitario de Ciencia y Tecnología del Hormigón ICITECH-UPV (C25 y UH150).

Como se puede apreciar, se trata de dos hormigones convencionales con diferentes características, C25 y C35, ambos aceptados por las diferentes normativas existentes para la construcción; un hormigón de altas prestaciones, C50; un hormigón de muy altas prestaciones, C90; y un hormigón que incorpora fibras metálicas en el amasado para la mejora de sus propiedades, y considerado de ultra altas prestaciones, UH150.

Tras el amasado, todas las probetas fabricadas con estas dosificaciones para este trabajo se mantuvieron durante 48 horas en los moldes en condiciones de laboratorio y protegidas con telas plásticas. Transcurrido este tiempo, las muestras se almacenaron en cámara de curado (20ºC y 90% H.R.) hasta cumplir la edad de 28 días. A dicha edad, se realizaron una serie de ensayos normalizados de caracterización cuyos resultados se recogen en la tabla 2.

Como se puede apreciar, el conjunto de hormigones fabricados cubre un amplio abanico de materiales que se emplean hoy en día tanto en construcción civil como arquitectónica. Entre los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados, es posible apreciar el rango de resistencias obtenido. Estas diferencias generan la existencia de los 4 grupos citados anteriormente, el primero, compuesto por los hormigones convencionales (C25 y C35). Los otros tres grupos los componen los hormigones de altas prestaciones (C50), muy altas prestaciones (C90) y de ultra altas prestaciones (UH150).

Respecto a los parámetros ensayados relacionados con la durabilidad, (absorción, porosidad y resistividad), es posible extraer una serie de conclusiones:

-los hormigones C90 y UH150 presentan unas propiedades que los convierten según bibliografía en materiales con una durabilidad alta o muy alta (Wang et al. 2014).

-el hormigón UH150 presenta una resistividad inferior al C90. Esto se debe a la presencia de un alto contenido de fibras metálicas, precursoras de un aumento de la conductividad (Martinie, Lataste, and Roussel 2015; Song et al. 2018);

-el hormigón C50 presenta una resistencia característica superior a los hormigones convencionales, pero en lo que respecta a durabilidad, su comportamiento apenas se diferencia de estos.

Estos hormigones fueron los que se utilizaron para completar el estudio que este trabajo recoge.

Plan experimental

A los 28 días de edad, una serie de probetas de dimensiones (Ø10x10cm) se seleccionaron para someterlas al ensayo descrito en la norma prCEN 12390-11 (Technical Committee CEN/TC 104 2009). Estas probetas se obtuvieron del corte de cilindros de dimensiones (Ø10x20cm).

Tal y como dicta la norma, las probetas se acondicionaron previamente al ensayo. Fueron saturadas con agua destilada, y las superficies se sellaron empleando resina epoxi (Sikaguard®-62) excepto la cara de exposición. Tras ello, se preparó una columna de agua con diferentes alturas (12.5 y 35 cm) sobre cada una de las muestras. Para conseguir una buena reproducibilidad, se realizó el ensayo sobre 3 probetas en cada una de las tipologías de hormigón y configuración de ensayo, en total, 30 probetas.

Tabla 1. Dosificaciones fabricadas (Kg/m^3)
Table 1. Manufactured dosages (Kg/m^3)

	C25	C35	C50	C90	UH150
Agua/cementante /Water/binder	0.65	0.65	0.5	0.32	0.2
Cemento/ Cement	307	292	450	500	800
Agua/ Water	184	190	225	178	160
Superplastificante/ Superplasticizer	1.85	2.80	1.37	3.5	30
Humo de sílice/ Silica fume	---	---	---	55	175
Harina de sílice/ Silica flour	---	---	---	---	225
Arena/ Sand (0/0.5)	---	---	---	---	302
Arena/ Sand (0.6/1.2)	---	---	---	---	565
Arena/ Sand (0/4)	1438	1256	880	914	---
Grava/ Gravel (4/8)	---	---	880	779	---
Grava/ Gravel (4/12)	491	707	---	---	---
Fibras metálicas/ Steel fibers	---	---	---	---	175

The reinforced concrete specimens were manufactured in the construction materials laboratory in the Building Engineering School ETSIE-UPV (C35, C50 and C90) and the laboratories of the Institute of Science and Technology of Concrete ICITECH-UPV (C25 and UH150).

As it is possible to see, there are several concrete types: two ordinary concretes accepted in the standard methods (C25 and C35); a high-performance concrete (C50); a very high-performance concrete (C90); and ultra-high performance fiber reinforced concrete (UH150).

After the casting process, the samples used in this work were kept in their moulds during 48 hours in laboratory conditions and protected using plastic fabrics to avoid humidity loss. After this period, the test specimens were removed from their moulds and were saved in curing chamber (20ºC and 90% R.H.) until 28 days age. At this moment, several standard test methods were performed to complete a basic characterization of the materials. The results are shown in table 2.

Tabla 2. Caracterización de los materiales
Table 2. Materials characterization

	C25	C35	C50	C90	UH150
f_{ck}/f_{ck} (MPa)	30.67	39.47	44.75	88.86	135.43
Absorción/Absoprtion (%)	7.77	6.63	8.01	3.91	0.78
Porosidad/Porosity (%)	15.81	14.79	17.17	9.14	1.90
Resistividad Resistivity (Ωm)	51.65	51.90	49.05	800.80	384.63

As it is possible to see, the concrete types analysed covers a wide range of reinforced concrete materials used nowadays, both in civil engineering and architecture. Due to the results obtained, it is possible to see the 4 groups described previously: ordinary concrete (C25 and C35) and three groups according to the high, very high and ultra-high performance concrete (C50, C90 and UH150 respectively).

According to the analysed parameters related to the durability (absorption, porosity, and resistivity), it is possible to highlight several conclusions:

-concrete types C90 and UH150 show better properties. According to the bibliography, the durability of these materials is high or very high (Wang et al. 2014);

En la imagen 1 se puede apreciar el proceso de acondicionado y preparación del ensayo.

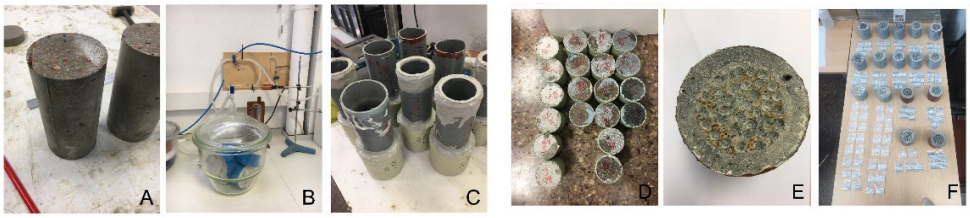


Imagen 1. Acondicionamiento y ensayo. Image 1. Preconditioning and test method.

A Probetas de ensayo/ Test specimens B Acondicionamiento/ Preconditioning C Columna de agua/ Ponding D Probetas tras periodo de exposición/ Test specimens after exposure E Extracción de muestras/ Sample extraction F Muestras de análisis/ Analysis samples

Las probetas se mantuvieron en condiciones de exposición durante 90 días. Una vez transcurrido este periodo, se procedió al desmontado de la celda de exposición y a la extracción de muestras a diferentes profundidades, empleando un taladro de columna. Esta herramienta permitió extraer muestras de no menos de 5 gramos a diferentes profundidades en cada probeta. Este residuo en polvo se analizó posteriormente mediante el análisis químico del contenido de cloruros, descrito en normas NTBuild-208(NORDTEST; Nordic Cooperation. 1996) o UNE-EN 14629(AENOR 2007).

Estos ensayos se basan en la disolución del ion con ácido nítrico, el filtrado de la muestra y el análisis colorimétrico por el método de Volhard. Cabe destacar lo laborioso de estos ensayos.

Resultados

En la imagen 2 se pueden apreciar las curvas de contenido de cloruros respecto al peso de cemento obtenidas en función de la profundidad a la que se extrajo la muestra.

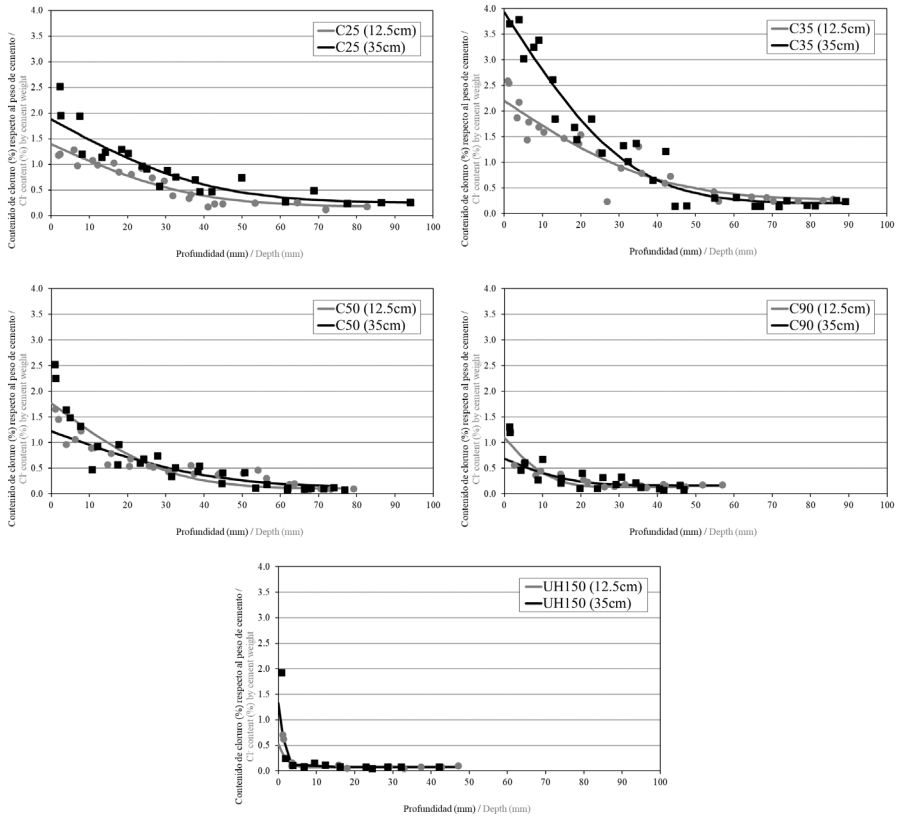


Imagen 2. Resultados; contenido de cloruros/profundidad. Image 2. Results; chloride content depending on depth.

-the concrete UH150 shows lower resistivity values comparing to the C90. This results from the high content of steel fibers, which increases the conductivity through the cement matrix (Martinie et al. 2015; Song et al. 2018);

-the concrete C50 shows a higher compressive strength than ordinary concretes. However, the durability parameters are not very different comparing to C25 and C35.

Later, the five concrete types were analysed using the prCEN 12390-11 (Technical Committee CEN/TC 104 2009) test method.

Experimental Plan

At the age of 28 days, several test specimens (Ø10x10cm) were selected to be used in the test method described in prCEN 12390-11 (Technical Committee CEN/TC 104 2009). These samples were obtained after sawing cylinders (Ø10x20cm).

The test specimens were conditioned as the test method indicates. They were vacuum saturated using demineralized water and the surfaces were sealed except the sawn face; for this purpose, epoxy painting was used (Sikaguard®-62). A ponding system was prepared for each test specimen having two configurations (12.5 and 35 cm). To get a good reproducibility, three test specimens were prepared for each configuration and concrete type, having 30 samples in overall. Image 1 shows the preconditioning process and the test performance.

The exposure condition was extended for 90 days, as it is described in the test method. Once the period finished, the ponding was removed, and several samples were extracted in each specimen at several depths using a drill column. The ground samples were analysed later using the chloride content chemical analysis, described in several standard methods NTBuild-208(NORDTEST; Nordic Cooperation. 1996) or UNE-EN 14629 (AENOR 2007).

These measurement techniques are based on the determination of the total chloride content by dissolving the concrete dust in nitric acid followed by Volhard titration. It should be highlighted the time-consuming of this process.

Results

Image 2 shows the results of the chloride content by cement weight obtained depending on the depth the sample was obtained.

The graphics in image 3 cluster the average curves obtained for each concrete type and test configuration (12.5 and 35 cm).

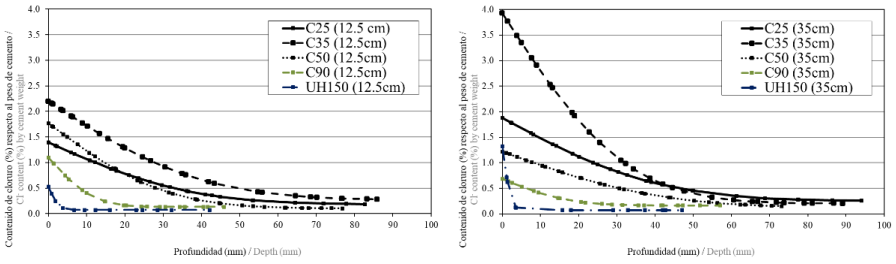


Imagen 3. Resultados promedio para cada hormigón y configuración de ensayo; contenido de cloruros/profundidad. Image 3. Average values for each concrete type and test configuration; chloride content depending on depth.

The chloride content values of each sample were introduced in the tool Life365® according to the depth the sample was obtained. This software uses the data introduced and the exposure period (90 days), and it can obtain the average curves described previously and the non-steady state chloride diffusion coefficient D_{nss}. The values obtained for these parameters are shown in image 4 according to the concrete type and test configuration.

Las gráficas de la imagen 3 recogen una síntesis de las diferentes curvas promedio obtenidas para cada uno de los hormigones y altura de columna analizados.

El valor del contenido de cloruros respecto al peso de cemento de cada una de las muestras se introdujo en la herramienta de cálculo Life365®. Este software, con los parámetros del tiempo de exposición (90 días) y los valores ensayados, puede estimar la curva de ingreso de los cloruros y el coeficiente de difusión en estado no estacionario D_{nss} del material. Los valores obtenidos para cada hormigón y cada configuración se recogen en la imagen 4.

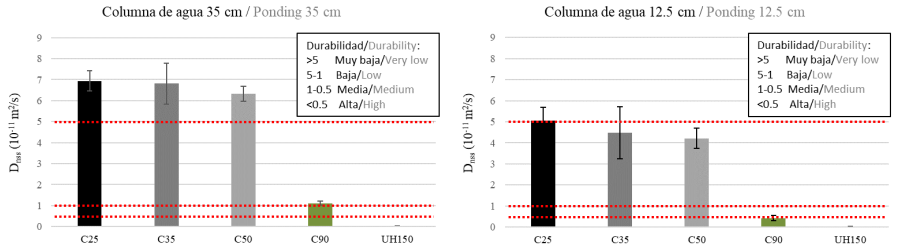


Imagen 4. Resultados promedio del coeficiente de difusión en estado no estacionario D_{nss}. Image 4. Average values for non steady state coefficient D_{nss}.

Si se analizan las gráficas independientemente, es posible observar las diferencias existentes entre cada uno de los hormigones analizados. En ambas gráficas se representan mediante líneas rojas una serie de valores límite determinados por la bibliografía (Wang et al. 2014) que relacionan el valor del coeficiente analizado con la durabilidad del material. Como se puede apreciar, los hormigones de muy altas y ultra altas prestaciones presentan valores muy por debajo del resto. Igual que en los ensayos de caracterización, el hormigón de altas prestaciones (C50) presenta valores similares que los hormigones convencionales (C25 y C35).

Uno de los detalles a tener en cuenta es la diferencia de resultados entre ambas gráficas para el mismo hormigón. Esta variación puede oscilar entre un 30 y 50% menos debido al cambio de altura de la columna de agua. Cabe destacar que este incremento es únicamente de 20 cm. Aun así, en ambas gráficas se repite la misma tendencia.

Conclusiones

Como se ha podido comprobar, el ensayo prCEN 12390-11 (Technical Committee CEN/TC 104 2009), junto con el análisis colorimétrico de las muestras, son herramientas muy útiles para el cálculo del coeficiente D_{nss} del hormigón. Ha sido posible detectar y estudiar este parámetro tanto en hormigones convencionales como de altas prestaciones.

Sin embargo, el ensayo prCEN 12390-11 (Technical Committee CEN/TC 104 2009) precisa de más detalle para definir un método de exposición concreto. En anteriores trabajos (Lliso Ferrando et al. 2020) ya se comprobó la influencia de exponer las muestras por los métodos de inmersión, "ponding" o inversión. En este trabajo se ha analizado la influencia de la diferencia de altura de las columnas. Se ha demostrado como un cambio de 20 cm aproximadamente de diferencia puede conducir a resultados totalmente diferentes. Estos errores pueden conducir a malinterpretaciones y problemas en el estudio de la vida útil de las estructuras de hormigón armado.

En el caso de utilizar esta metodología de ensayo en laboratorio, para poder comparar resultados, todas las muestras deben tener el mismo tipo de exposición, ya que de este modo se podrán comparar resultados. Si su uso se realiza en medidas de campo, donde se extrae un testigo expuesto a un medio durante determinado tiempo, esta herramienta puede servir para estimar un coeficiente D_{nss} para ese caso concreto y utilizarse para predecir el tiempo necesario para que el cloruro penetre hasta cierta profundidad. Las medidas sobre un mismo hormigón en laboratorio y de estructuras reales no podrán ser comparadas ya que presentan diferentes condiciones de exposición.

If each graphic is analysed separately, it is possible to see the differences between each concrete type studied. In each graphic several limit values have been indicated according to the bibliography that has been consulted (red dotted line) (Wang et al. 2014). These studios link the durability of the materials and several characterization parameters as D_{nss} coefficient values. As it is possible to see, the concrete types C90 and UH150 show lower values than the rest of the materials analysed. Moreover, the high-performance concrete (C50) shows similar values than ordinary concretes (C25 and C35), as it was described below in the characterization conclusions. In addition, in both images it is possible to see the same tendency.

Another detail should be considered is the difference between both graphics for each concrete type. The different results for the same material vary between 30 and 50% if the ponding configuration changes. The variation used in this work is only 20cm.

Conclusions

As it has been analysed, both the prCEN 12390-11 (Technical Committee CEN/TC 104 2009) test method and the colorimetric analysis are very useful tools for studying the D_{nss} coefficient of concrete materials. It has been possible to obtain this parameter in ordinary concrete and high-performance concrete types.

However, the prCEN 12390-11 (Technical Committee CEN/TC 104 2009) needs a more accurate definition of the exposure conditions. In previous works the influence between using immersion, inversion or ponding exposure was analysed (Lliso Ferrando et al. 2020). In this work the influence between two ponding configurations has been studied. It has been proved how changing the water column (ponding) 20 cm, the results obtained can vary significantly, and they can drive to wrong considerations and service life predictions.

If this test methodology is used in laboratory conditions to compare several concrete types, the same exposure configuration must be used. If this methodology is used in field measurements this analysis technique can be used for estimating a D_{nss} according to the service life and the exposure conditions. This studio can be used for initiation-propagation time predictions. Both, laboratory, and field studios cannot be compared because they will analyse different exposure conditions.

Agradecimientos/Aknowledgements

The authors would like to express their gratitude to the Universitat Politècnica de València for the pre-doctoral scholarship granted to Josep Ramon Lliso Ferrando (FPI-UPV-2018).

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- AENOR. 2007. “UNE-14629. Determinación Del Contenido En Cloruros En El Hormigón Endurecido.”
- AENOR. 2009. “UNE 83987. Determinación de Los Coeficientes de Difusión de Los Iones Cloruro En El Hormigón Endurecido.”
- AENOR. 2019. “UNE-EN 12390-11. Ensayos En Hormigón Endurecido. Parte 11 : Determinación de La Resistencia a Los Cloruros Del Hormigón , Difusión Unidireccional.”
- Angst, Ueli, Bernhard Elsener, Claus K. Larsen, and Øystein Vennesland. 2009. “Critical Chloride Content in Reinforced Concrete - A Review.” *Cement and Concrete Research* 39(12):1122–38.
- Berrocal, Carlos G., Karin Lundgren, and Ingemar Löfgren. 2016. “Corrosion of Steel Bars Embedded in Fi Bre Reinforced Concrete under Chloride Attack : State of the Art.” *Cement and Concrete Research* 80(10):69–85.
- Bertolini, L., B. Elsener, P. Pedeferri, E. Redaelli, and R. Polder. 2013. *Corrosion of Stell in Concrete: Prevention, Diagnosis and Repair*. edited by W. VCH.
- Castellote, M., C. Andrade, and C. Alonso. 2001. “Measurement of the Steady and Non-Steady-State Chloride Diffusion Coefficients in a Migration Test by Means of Monitoring the Conductivity in the Anolyte Chamber Comparison with Natural Diffusion Tests.” 31:1411–20.
- Dhir, R. K., M. R. Jones, and H. E. H. Ahmed. 1990. “Determiantion of Total and Soluble Chlorides in Concrete.” *Cement and Concrete Research* 20(4):579–90.
- Garcés Terradillos, Pedro, Miguel Ángel Climent Llorca, and Emilio Zornoza Gómez. 2008. *Corrosión de Armaduras En Estructuras de Hormigón Armado*.
- Lliso Ferrando, Josep Ramon, Manuel Valcuende Payá, Isabel Gasch Molina, and Rafael Calabuig Pastor. 2020. “Methodology Test Influence on the Calculation of the Chloride Diffusion Coefficient in Concrete According to the PrCEN/TS 12390-11 Test Met.” in *International Itinerant Exhibition “Research in Building Engineering-EXCO’20.”* Valencia, Spain.
- Martinie, Laetitia, Jean François Lataste, and Nicolas Roussel. 2015. “Fiber Orientation during Casting of UHPFRC: Electrical Resistivity Measurements, Image Analysis and Numerical Simulations.” *Materials and Structures/Materiaux et Constructions* 48(4):947–57.
- Nasser, A., A. Clément, S. Laurens, and A. Castel. 2010. “Influence of Steel – Concrete Interface Condition on Galvanic Corrosion Currents in Carbonated Concrete.” *Corrosion Science* 52(9):2878–90.
- NORDTEST; Nordic Cooperation. 1995. “NT Build 443. Accelerated Chloride Penetration.” *Nordtest Method* 1–5.
- NORDTEST; Nordic Cooperation. 1996. “NT Build 208. Chloride Content by Volhard Titration.” *Nordtest Method* 3:1–4.
- NORDTEST; Nordic Cooperation. 1999. “NT Build 492. Rapid Chloride Migration Test (RCMT).” *Nordtest Method* 1–8.
- Song, Qiulei, Rui Yu, Zhonghe Shui, Suduan Rao, Xinpeng Wang, Meijuan Sun, and Chunyuan Jiang. 2018. “Steel Fibre Content and Interconnection Induced Electrochemical Corrosion of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC).” *Cement and Concrete Composites* 94(September):191–200.
- Technical Committee CEN/TC 104. 2009. “PrCEN 12390-11. Testing Hardened Concrete. Determination of the Chloride Resistance of Concrete, Unidirectional Diffusion.” *European Comittee for Standarization*.
- Torres-luque, M., E. Bastidas-arteaga, F. Schoefs, M. Sánchez-silva, and J. F. Osma. 2014. “Non-Destructive Methods for Measuring Chloride Ingress into Concrete : State-of-the-Art and Future Challenges.” *Construction and Building Materials* 68(1):68–81.
- Wang, Wei, Jian Liu, Franck Agostini, Catherine A. Davy, Frédéric Skoczylas, and Dominique Corvez. 2014. “Durability of an Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC) under Progressive Aging.” *Cement and Concrete Research* 55:1–13.

ECUACIONES DEL CÁLCULO DINÁMICO QUE RIGEN LOS SOFTWARE DE CÁLCULO ESTRUCTURAL COMUNMENTE UTILIZADOS

DYNAMIC CALCULATION EQUATIONS GOVERNING COMMONLY EMPLOYED STRUCTURAL CALCULATION SOFTWARE

Javier Pereiro Barceló
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Alicante
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
japebar@gmail.com

José Luis Bonet Senach
Departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería Civil
Universitat Politècnica de València
Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH)
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
jlbonet@cst.upv.es

Francisco de Borja Varona Moya
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Alicante
Dr. Ingeniero Industrial
borja.varona@ua.es

Óscar Galao Malo
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Alicante
Dr. Ingeniero de Obras Públicas
oscar.galao@ua.es

Abstract

The earthquakes have always worried humanity because of its devastating effects on structures. For this reason, the methods of the design codes have evolved remarkably. Currently, the main codes, such as Eurocode 8, allow performing two different types of calculations to design the structure against seismic loads: spectral modal analysis and dynamic analysis with time-integration (use of accelerograms). Most of the software used to design buildings employs spectral modal analysis, and this is what the CYPE structural design programs use (CYPECAD and CYPE3D). This article describes the analytical procedure to perform seismic analysis in these programs, which are widely employed in structural design all over the world.

Keywords
Dynamics, OpenSees, CYPE.

Introducción

Las estructuras sometidas a un terremoto deben soportar elevadas cargas y su capacidad de deformación es fundamental para redistribuir fuerzas y disipar energía. Varios métodos fueron desarrollados para analizar estructuras frente a cargas sísmicas. El método más utilizado y extendido es el análisis modal espectral. Éste es aplicable de acuerdo con los principales códigos de diseño como el Eurocódigo 8 (European Commitee for Standardization 2004) y ACI (318 2014). El análisis modal espectral es muy difícil de utilizar sin una herramienta informática, debido al elevado número de cálculos a realizar atendiendo a la magnitud típica de edificios o estructuras civiles reales. En consecuencia, varios programas informáticos comerciales para el diseño de estructuras incorporaron el análisis modal espectral, entre ellos, CYPECAD (CYPE 1991) y CYPE3D (CYPE 1995).

El principal objetivo de esta comunicación es describir el procedimiento analítico para realizar análisis sísmico utilizando el software de cálculo estructural de CYPE.

Procedimiento Analítico

CYPECAD y CYPE3D utilizan análisis modal espectral. Este método se basa en calcular sólo la respuesta máxima de la estructura en cada modo de vibración hasta alcanzar un porcentaje de masa movilizada por encima de un límite.

Partiendo de la ecuación de vibración libre de sistemas lineales (ecuación [1]) y la ecuación de expansión modal ([2]), se obtiene la ecuación característica de la estructura (ecuación [3]). La solución de esta ecuación matricial proporciona la frecuencia natural de la estructura (valores propios) para cada modo (vectores propios) (Barbat and Canet 1994; Chopra 2001). Luego, CYPECAD y CYPE3D obtienen los desplazamientos en los grados de libertad (GDL) dinámicos. Se deducen considerando la ecuación dinámica completa [4], la expansión modal (ecuación [2]) y el espectro de respuesta.

$$[M]\{\ddot{U}\} + [K]\{U\} = \{0\} \qquad [1]$$

donde:

$[M]$: Matriz de masas

$[K]$: Matriz de rigidez

$\{U\}$: Vector de desplazamientos

$\{\ddot{U}\}$: Vector de aceleraciones

$$\{U\} = \{\varphi\}\{q\} \qquad [2]$$

donde:

$\{\varphi\}$: Autovectores

$\{q\}$: Coordenadas modales

Introduction

Structures subjected to an earthquake must bear high loads and its deformation capacity is essential to redistribute forces and dissipate energy. Several methods were developed to analyze structures against seismic loading. The most used and widespread is response spectral analysis. It is applicable according to main design codes such as Eurocode 8 (European Commitee for Standardization 2004) and ACI (318 2014). Response spectral analysis is very difficult to use without a computer tool, due to the high number of calculations to perform with the typical magnitude of actual buildings or civil structures. Consequently, several commercial computer programs to design structures incorporated response spectral analysis, among them, CYPECAD (CYPE 1991) and CYPE3D (CYPE 1995).

The main objective of this article is to describe the analytical procedure to perform seismic analysis using structural CYPE software.

Analytical procedure

CYPECAD and CYPE3D uses response spectral analysis. This method is based on computing just the maximum response of structure in each mode of vibration up to reach a percentage of activated mass above a limit.

Based on the free vibration equation of linear systems (equation [1]) and the modal expansion equation ([2]), the characteristic equation of the structure is obtained (equation [3]). The solution of this matrix equation gives the natural frequency of the structure in each mode (eigenvalues) and the modes (eigenvectors) (Barbat and Canet 1994; Chopra 2001). Then, CYPECAD and CYPE3D gets the displacements in the dynamic degrees of freedom. They are deduced by considering the complete dynamic equation [4], the modal expansion (equation [2]) and the response spectral spectrum.

$$[M]\{\ddot{U}\} + [K]\{U\} = \{0\} \qquad [1]$$

where:

$[M]$: Mass matrix

$[K]$: Stiffness matrix

$\{U\}$: Vector of displacement of degrees of freedom (DOFs)

$\{\ddot{U}\}$: Vector of acceleration of DOFs

$$\{U\} = \{\varphi\}\{q\} \qquad [2]$$

where:

$\{\varphi\}$: Eigenvectors

$\{q\}$: Modal coordinates

$$\left[[K] - \{\omega\}^2[M]\right]\{\varphi\} = \{0\} \quad [3]$$

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = -[M]\{\ddot{U}_g\} \quad [4]$$

donde:

$\{\varphi\}$: Autovectores

$\{q\}$: Coordenadas modales

$\{\omega\}$: Frecuencias naturales de vibración

$\{\ddot{U}_g\}$: Aceleración del suelo

Para obtener la respuesta total de la estructura, se utilizan las combinaciones modal y direccional. Se adoptan CQC (Wilson, Der Kiureghian, and Bayo 1981) y la suma ponderada, respectivamente. Existen otras combinaciones modales tales como: suma absoluta, SRSS (Rosenblueth 1951), doble suma (Gupta and Cordero 1981) y GMC (Editor 1993). También existen otras combinaciones direccionales como: suma absoluta, CQC3 (Menun and Der Kiureghian 1998) y SRSS (Rosenblueth 1951).

Los esfuerzos obtenidos mediante el uso de las reglas de combinación anteriores no son concomitantes. Por ejemplo, la fuerza axial no es concomitante con el cortante ni con el momento flector. Por esta razón, CYPECAD y CYPE3D emplean la expansión modal para calcular los esfuerzos concomitantes entre sí.

El porcentaje de masa, que se activa en cada modo, se calcula con la expresión [5]. Los modos con el período más alto se computan en primer lugar.

$$\%M_{dir,i} = \frac{\left(\{\varphi_i\}^T \cdot [M] \cdot \{U_{b,dir}\}\right)^2}{\{\varphi_i\}^T \cdot [M] \cdot \{\varphi_i\}} \frac{100}{M_{total,dir}} \quad [5]$$

donde:

$\%M_{dir,i}$: Porcentaje de movilización de masa en la dirección “dir” para el modo i.

$\{U_{b,dir}\}$: Vector cuyas componentes tienen valor “1” en las componentes de la dirección “dir” y”0” en el resto.

$M_{total,dir}$: Masa total en la dirección “dir”.

Los grados de libertad dinámicos que CYPECAD considera son tres por planta: Ux, Uy y θz. Por tanto, todos los grados de libertad se condensan dinámicamente en el centro de masas de cada planta. Luego, los desplazamientos calculados en el centro de masas con el análisis modal espectral se transfieren al resto de nodos de la planta considerando que el forjado es rígido. Para ello, se calcula previamente el centro de rigidez.

Por otro lado, CYPE3D considera que todos los nodos de la estructura tienen como GDL dinámicos las traslaciones en las direcciones “x” e “y”. Por lo tanto, el número de GDL dinámicos suele ser mucho mayor que en CYPECAD.

$$\left[[K] - \{\omega\}^2[M]\right]\{\varphi\} = \{0\} \quad [3]$$

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = -[M]\{\ddot{U}_g\} \quad [4]$$

where:

$\{\varphi\}$: Eigenvectors

$\{q\}$: Modal coordinates

$\{\omega\}$: Natural frequency of vibration

$\{\ddot{U}_g\}$: Ground acceleration

In order to obtain the total response of the structure, the modal and the directional combinations are used. CQC (Wilson, Der Kiureghian, and Bayo 1981) and weighted sum are adopted respectively. There are other modal combinations such as: Absolut sum, SRSS (Rosenblueth 1951), Double Sum (Gupta and Cordero 1981) and GMC (Editor 1993). Also there are other directional combinations such as: Absolut sum, CQC3 (Menun and Der Kiureghian 1998) and SRSS (Rosenblueth 1951).

The sectional forces obtained by using the previous combinations rules are not concomitants. For instance, the axial force is not concomitant neither the shear nor the bending moment. For this reason, CYPECAD and CYPE3D employ the modal expansion to calculate the concomitant sectional forces between each other.

The percentage of the mass, which is activated in each mode, is calculated with expression [5]. Modes with the highest period are computed firstly.

$$\%M_{dir,i} = \frac{\left(\{\varphi_i\}^T \cdot [M] \cdot \{U_{b,dir}\}\right)^2}{\{\varphi_i\}^T \cdot [M] \cdot \{\varphi_i\}} \frac{100}{M_{total,dir}} [5]$$

where:

$\%M_{dir,i}$: Percentage of activated mass in the "dir" direction for the i^{th} mode.

$\{U_{b,dir}\}$: Vector with value "1" in the components of the "dir" direction and 0 in the rest.

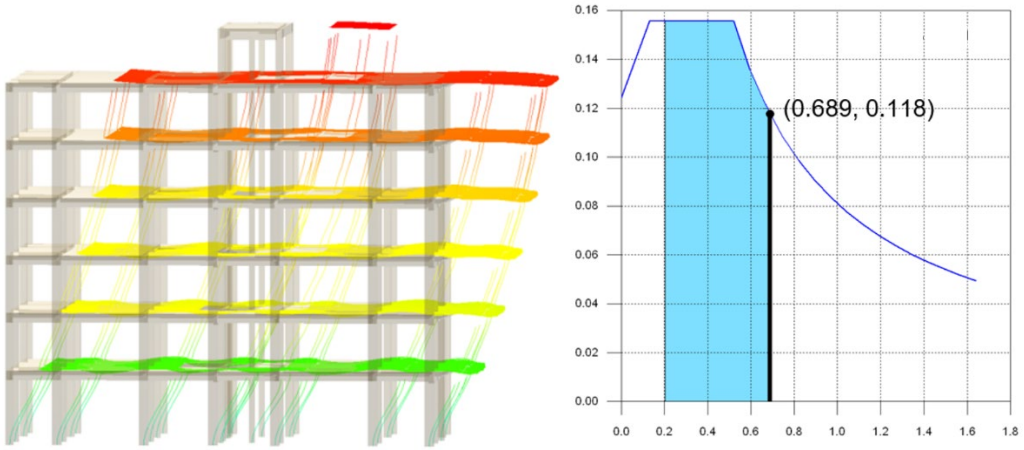
$M_{total,dir}$: Total mass in the "dir" direction.

The dynamic degrees of freedom that CYPECAD considers are three per story: Ux, Uy and θz. Hence, all degrees of freedom are dynamically condensed in the mass center of each story. Then, the displacements calculated in the mass center with the spectral modal analysis are transferred to the rest of the nodes of the story considering the slab is rigid. For this, the stiffness center was previously computed.

On the other hand, CYPE3D considers that translational degrees of freedom in directions x and y as dynamics. Therefore, the number of dynamic DOFs is usually much bigger than in CYPECAD.

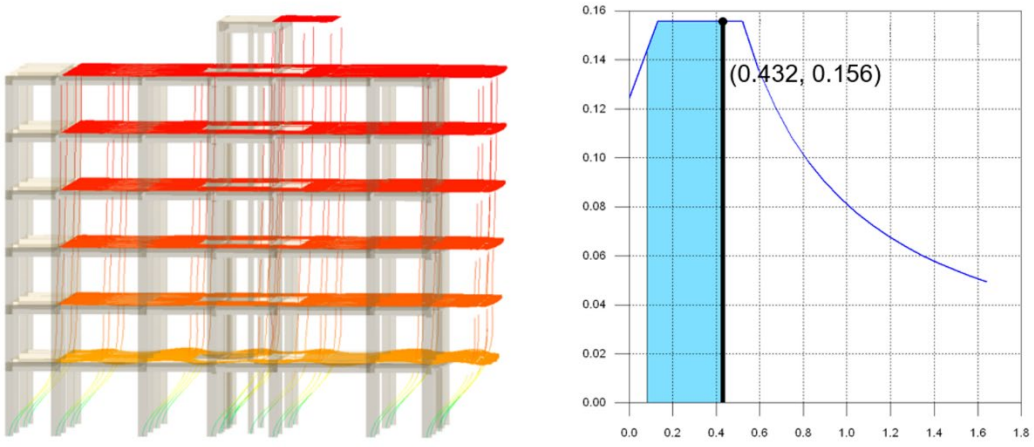
Elementos no estructurales frente a cargas horizontales

Las fachadas y tabiques de los edificios se consideran elementos "no estructurales". Sin embargo, durante un terremoto, proporcionan rigidez a la estructura; de ahí que modifiquen la distribución y magnitud de las fuerzas provocadas por la acción sísmica. Por ejemplo, cuando la rigidez de los tabiques tiene una distribución no uniforme entre plantas, las fuerzas horizontales tienen un mayor impacto en los pilares pertenecientes a las plantas con mayor rigidez, produciendo elevados esfuerzos cortantes en los pilares. Esto puede observarse comparando las Imágenes 1 y 2. En la Imagen 1, no se consideran los tabiques en el cálculo y la aceleración de la planta baja es de 0.118 m/s^2. Sin embargo, en el caso de la Imagen 2, sí se consideran los tabiques y la aceleración asciende a 0.156 m/s^2, porque el periodo de la estructura cambia al cambiar su rigidez. La consecuencia de esto es que la fuerza horizontal en el extremo inferior de los pilares de primera planta es 1.5 veces superior si se consideran los tabiques en el análisis (Imagen 3). Si los pilares no se han diseñado en consecuencia, los esfuerzos pueden provocar una rotura frágil, poniendo en peligro la estabilidad del edificio e incluso provocando su colapso.



(a) (b)

Imagen 1 Respuesta de una estructura sin considerar la tabiquería: (a) Deformada; (b) Pseudo-aceleración que sufre la planta baja.
Image 1. Response of a structure with no partitions: (a)Deformed shape; (b) Pseudo-acceleration that the structure undergoes



(a) (b)

Imagen 2 Respuesta de una estructura considerando la tabiquería: (a) Deformada; (b) Pseudo-aceleración que sufre la planta baja.
Image 2. Response of a structure considering partitions: (a)Deformed shape; (b) Pseudo-acceleration that the structure undergoes

Non-structural elements against horizontal loads

The façades and partitions of the building are considered as being "non-structural" elements. However, during an earthquake they do provide stiffness to the structure; hence they modify the distribution and magnitude of the forces caused by the seismic action. For example, when the stiffness has a non-uniform distribution between floors associated with the partitions, the horizontal forces have a greater impact on the columns belonging to the floors with greater stiffness, producing shear forces of a high magnitude in the columns. This fact can be seen by comparing Images 1 and 2. In Image 1, the partitions are not considered in the calculation and the acceleration of the ground floor is 0.118 m/s^2. However, in the case of Image 2, the partitions are considered and the acceleration amounts to 0.156 m/s^2, because the period of the structure changes when its stiffness changes. The consequence of this is that the horizontal force in the lower end of the ground floor columns is 1.5 times greater if partitions are considered in the analysis (Image 3). If columns have not been designed accordingly, the forces can cause a fragile fracture, endangering the stability of the building, even leading to its collapse.

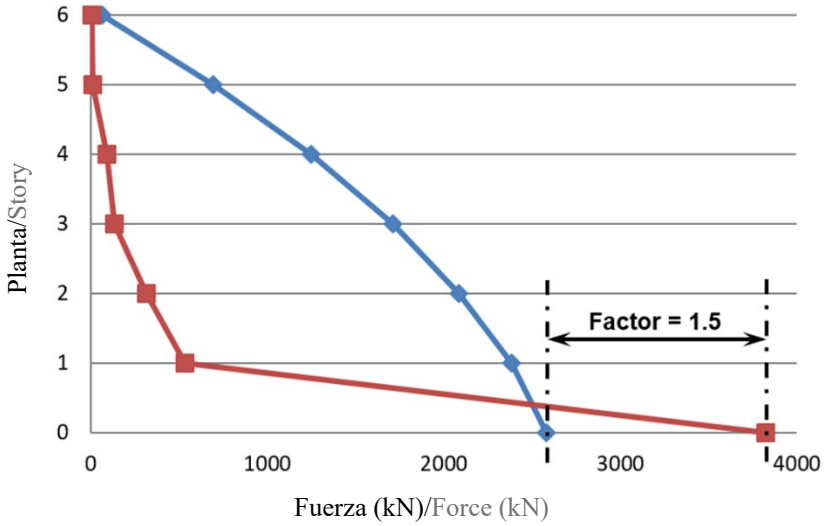


Imagen 3 Respuesta de una estructura sin considerar la tabiquería: (a) Deformada; (b) Pseudo-aceleración que sufre la planta baja.
Image 3. Response of a structure with no partitions: (a)Deformed shape; (b) Pseudo-acceleration that the structure undergoes

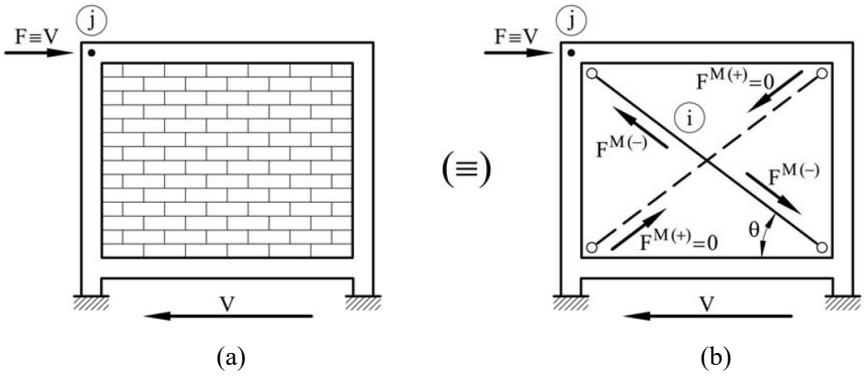


Imagen 4 Mecanismo resistente de los tabiques: (a) Tabique solicitado a fuerzas horizontales; (b) Modelo de bielas y tirantes. Image 4. Bearing mechanism of partitions: (a) Partition under horizontal loading; (b) Strut and tie model

CYPECAD permite a los usuarios verificar el comportamiento de la estructura en diferentes situaciones, mediante la generación automática de modelos que consideran cómo varía la rigidez de los elementos no estructurales. El módulo verifica el comportamiento de la estructura sin tabiques ni fachadas, con todos ellos y estados intermedios, y diseña cada elemento resistente para la situación más desfavorable. De esta forma se garantiza la correcta respuesta de la estructura durante un terremoto.

Los elementos no estructurales se modelan como bielas diagonales dentro de los marcos (Imagen 4). La carga que transmiten se ve disminuida por un parámetro de daño, que depende de los desplazamientos horizontales relativos entre dos plantas consecutivos. Es necesario para ello un proceso de cálculo iterativo porque el parámetro de daño implica un proceso no lineal.

CYPECAD allows users to verify the behavior of the structure in different situations, by automatically generating design models that consider how the stiffness of the non-structural elements varies. The module verifies the behavior of the structure without partitions or façades, with all of them, considers intermediate states, and designs each resistant element for the worst-case situation. This way guarantees the correct response of the structure during an earthquake.

The non-structural elements are modeled as diagonal trusses within the frames (Image 4). The load they transmit is diminished by a damage parameter, which depends on the relative horizontal displacements between two consecutive floors. This is computed by an iterative calculation process because the damage parameter means a non-linear process.

Conclusions

- CYPECAD and CYPE3D uses CQC modal combination and weighted sum as directional combination. Both employ the modal expansion to calculate the concomitant sectional forces after modal spectral analysis.
- CYPECAD considers three dynamic DOFs per floor (Ux, Uy and θz) and considers the non-structural elements in seismic calculations. The façades or partitions are considered as a truss: the more degraded they are the less load can bear.
- CYPE3D considers two horizontal dynamic DOFs per node (Ux, Uy).
- Non-structural elements must be considered in the calculation because they provide stiffness to the floors, which implies that the columns suffer greater efforts.

Conclusiones

- CYPECAD y CYPE3D utilizan la combinación modal CQC y la suma ponderada como combinación direccional. Ambos utilizan la expansión modal para calcular los esfuerzos concomitantes tras un análisis modal espectral.
- CYPECAD considera tres GDL dinámicos por planta (Ux, Uy y θz) y considera los elementos no estructurales en los cálculos sísmicos. Las fachadas o tabiques se modelizan como bielas: cuanto más degradados están, menos carga puede soportar.
- CYPE3D considera dos GDL dinámicos horizontales por nodo (Ux, Uy).
- Los elementos no estructurales deben ser considerados en el cálculo porque aportan rigidez a las plantas, lo que implica que los pilares sufran mayores esfuerzos.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- 318, A C I Committee. 2014. 318-14: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary *318-14: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. http://files/1036/ACI Committee 318 - 2014 - ACI 318-14 Building Code Requirements for Structu.pdf.
- Barbat, Alex H., and J.M. Canet. 1994. *Estructuras Sometidas a Acciones Sísmicas*. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. https://books.google.es/books?id=UHVtNAAACAAJ.
- Chopra, A K. 2001. 17 Earthquake Spectra *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, 2nd Edition*. Pearson/Prentice Hall. https://books.google.es/books?id=jce0QgAACAAJ.
- CYPE. 1991. "CYPECAD." http://cypecad.cype.es/.
- CYPE. 1995. "CYPE3D." http://cype3d.cype.es/.
- Editor. 1993. 26 Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering *Response Spectrum Method in Seismic Analysis and Design of Structures*. Blackwell Scientific Publications, Inc.
- European Commitee for Standardization. 2004. "Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 1 : General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings." *European Committee for Standardization* 1(English): 231. http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:EN+1998-1:+Eurocode+8:+Design+of+structures+for+earthquake+resistance+?+Part+1:+General+rules,+seismic+actions+and+rules+for+buildings+(2004)#3%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=S.
- Gupta, A. K., and K. Cordero. 1981. "Combination of Modal Responses." In *Transactions of the International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology*,.
- Menun, Charles, and Armen Der Kiureghian. 1998. "A Replacement for the 30%, 40%, and SRSS Rules for Multicomponent Seismic Analysis." *Earthquake Spectra* 14(1): 153–63. https://doi.org/10.1193/1.1585993.
- Rosenblueth, Emilio. 1951. "A Basis for Aseismic Design of Structures." The University.
- Wilson, E. L., A. Der Kiureghian, and E. P. Bayo. 1981. "A Replacement for the Srss Method in Seismic Analysis." *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 9(2): 187–92. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/eqe.4290090207.

ESTUDIO DEL RASANTE EN VIGAS EN T FABRICADAS CON FRC

LONGITUDINAL SHEAR STUDY IN FRC T-BEAMS

Javier Pereiro-Barceló
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Alicante
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
japebar@gmail.com

José Luis Bonet Senach
Departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería Civil
Universitat Politècnica de València
Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH)
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
jlbonet@cst.upv.es

José Antonio López-Juárez
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad Católica de Murcia
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
jalopez6@ucam.edu

Francisco de Borja Varona Moya
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Alicante
Dr. Ingeniero Industrial
borja.varona@ua.es

Abstract

The longitudinal shear failure between the web and flanges of T-beams is contemplated by technical codes. For this reason, the longitudinal shear must be compared with the longitudinal shear resistance of the flange. Longitudinal shear strength can be increased by including steel fibres in the concrete mass (Fibre Reinforced Concrete (FRC)). This article shows the experimental results of 13 T-beams mounted on two supports subjected to two central loads. Four of these beams were made with conventional concrete and nine with fibre-reinforced concrete. The direct instrumentation results are discussed and the failure process is described. Longitudinal shear cracking load is studied on the basis of both a theoretical approach and experimental results. An analysis is performed to evaluate each specimen's longitudinal shear, not only in the ultimate state, but also throughout the loading process evolution, based on load and strain records. This process involves determining each beam's effective width. The experimental data confirm an increase in longitudinal shear strength caused by adding steel fibres to concrete.

Keywords

Longitudinal shear strength; longitudinal shear cracking load; web-flange junctions; fibre-reinforced concrete; T-beams.

Introducción

El uso de vigas en T de hormigón armado o vigas en doble T está muy extendido tanto en edificios como en tableros de puentes debido a su alta relación resistencia a la flexión - peso. Los códigos de diseño (BS EN 1992-1-1 2004; Fomento and Hormigón 2010) contemplan el análisis del rasante entre alma y alas para asegurar el comportamiento integral de las alas comprimidas frente a tensiones normales o tangenciales.

La tensión tangencial entre el ala y el alma τ_{xy} se produce por la variación de la fuerza axial N_f en el ala a lo largo de una zona de la viga (BS EN 1992-1-1 2004; Fomento and Hormigón 2010). Esta tensión tangencial σ_x es simultánea con una tensión normal de ala σ_x y con una tensión normal perpendicular a la unión ala-alma σ_y. La tensión alma-ala σ_y se produce como consecuencia del equilibrio de tensiones ala, debido a la excentricidad de la fuerza axial N_f con respecto a la unión alma-ala. La resultante de las tensiones σ_y es nula. La combinación de esfuerzos de σ_x, σ_y y τ_{xy}, puede conducir a la formación de fisuras en el ala de una viga en T de hormigón armado (Razaqpur and Ghali 1984).

La presencia de armadura transversal o fibras en la masa de hormigón es necesaria para garantizar la integridad de la sección. La fisuración afecta negativamente el servicio y el rendimiento final de las vigas. Si el refuerzo transversal plastifica, se puede suponer una redistribución plástica de las tensiones tangenciales a lo largo de una zona de la viga (BS EN 1992-1-1 2004; Fomento and Hormigón 2010) (la distribución de tensiones tangenciales τ_{xy} se puede asumir uniforme). De lo contrario, si el refuerzo transversal no plastifica, la tensión tangencial del ala del alma τ_{xy} debe calcularse mediante la teoría elástica. En este caso, la distribución de tensiones tangenciales τ_{xy} no es uniforme.

En general, todos los códigos coinciden en dar importancia a garantizar la unión entre ala y alma mediante una cuantía de armado mínima lo suficientemente alta como para tener un mecanismo dúctil resistente. Un comportamiento adecuado de la unión alma-ala permite considerar la contribución de las alas comprimidas tanto para la resistencia a la flexión como para la resistencia a cortante de vigas con perfiles en forma de T. Aunque los códigos de diseño actuales ignoran la contribución de las alas a la resistencia a cortante, estudios recientes teóricos (Tureyen and Frosch 2003) y experimentales (Kani, Huggins, and Wittkopp 1979; Leonhardt 1970) muestran que no es despreciable .

Hay estudios experimentales de vigas en T de hormigón armado fabricadas con fibras de acero (Abdul-Ahad and Aziz 1999; Kuo, Hsu, and Hwang 2015). Estos estudios analizan la contribución de las fibras de acero en la resistencia a flexión o a cortante. La relación entre el ancho y el espesor de las alas de las vigas en T analizadas es moderada y, por tanto, se reduce la flexibilidad de las alas en su plano. Además, estas vigas han sido diseñadas para que el rasante no sea un modo de falla. En consecuencia, no se han encontrado resultados experimentales para vigas en T con alas anchas fabricadas con hormigón reforzado con fibras (FRC) y probadas para analizar la contribución de las fibras a la resistencia al rasante ala-alma. Sin embargo, la resistencia a cortante o la resistencia a la flexión de FRC ha recibido mucha atención y está incluida en los códigos de diseño.

Introduction

The use of reinforced concrete T-beams or double T-beams is widespread both in buildings and bridge decks due to their high flexural strength / weight ratio. The design codes (BS EN 1992-1-1 2004; Fomento and Hormigón 2010) contemplate the longitudinal shear analysis between the web and flanges as a Ultimate Limit State in order to ensure the integral behaviour of the compressed wings against normal or tangential stresses.

The web-flange tangential stress τ_{xy} is produced by the variation of the axial force N_f in the flange along a beam zone (BS EN 1992-1-1 2004; Fomento and Hormigón 2010). This tangential stress τ_{xy} is simultaneous with a flange normal stress σ_x and with a web-flange normal stress σ_y. The web-flange stress σ_y is produced as a consequence of the flange stress equilibrium, because of the eccentricity of the axial force N_f with respect to the web-flange junction. The resultant of stresses σ_y is null. The stress combination of σ_x, σ_y and τ_{xy}, can lead to the formation of cracks in the flange of a reinforced concrete T-beam (Razaqpur and Ghali 1984).

The presence of transverse reinforcement or fibres in the concrete mass is necessary to guarantee the integrity of the section. This cracking adversely affects the service and ultimate performance of the beams. If the transverse reinforcement yields, a plastic redistribution of the tangential stresses along a beam zone can be assumed (BS EN 1992-1-1 2004; Fomento and Hormigón 2010) (the tangential stress τ_{xy} distribution can be assumed uniform). Otherwise, if the transverse reinforcement does not yield, the web-flange tangential stress τ_{xy} should be calculated by elastic theory. In this case, the distribution of tangential stresses τ_{xy} is not uniform.

In general, all codes coincide in attaching importance to guarantee the web-flange junction by a high enough minimum reinforcement ratio to have a tough ductile mechanism. An adequate web-flange junction behaviour allows to consider the contribution of the compressed flanges both for the flexural strength and for the vertical shear strength of beams with T-shaped sections. Although the present design codes ignore the contribution of flanges for shear strength, recent theoretical (Tureyen and Frosch 2003) and experimental studies (Kani, Huggins, and Wittkopp 1979; Leonhardt 1970) show that it is not negligible.

There are some experimental studies of reinforced concrete T-beams made of steel fibres (Abdul-Ahad and Aziz 1999; Kuo, Hsu, and Hwang 2015). These studies analyse the contribution of steel fibres in flexural strength or vertical shear. The relationship between the width and the thickness of the analysed T-beam flanges is moderate and, therefore, the flexibility of the flanges in their plane is reduced. In addition, these beams have been designed in order for the longitudinal shear not to be a failure mode. Consequently, no experimental results have been found for T-beams with wide flanges manufactured with fibre reinforced concrete (FRC) and tested to analyse the contribution of the fibres to the web-flange longitudinal shear resistance. Nevertheless, the vertical shear strength or the flexural strength of FRC has received plenty of attention and is included in design codes.

Programa experimental

El objetivo del programa experimental fue analizar la influencia de las fibras metálicas en la resistencia a rasante de vigas en T.

Especímenes

Se ensayaron trece vigas en T isostáticas de 5 metros de largo. La sección transversal (Imagen 1) tenía una anchura de 1200 mm y 70 mm de espesor. Se consideró un tamaño de ala (ancho y espesor) con el objetivo de estudiar el rasante en la unión ala-ala. El tamaño del ala se definió para que la carga vertical que causase la fisuración de la unión entre el alma y el ala por rasante fuera la mitad de la carga vertical que teóricamente causaría la rotura por flexión. La profundidad total de la sección transversal fue de 400 mm con un espesor de alma de 200 mm. La distribución de armaduras longitudinales y transversales en el alma fue la misma en todos los especímenes. Inicialmente, el recubrimiento geométrico de hormigón se estableció en 30 mm, pero se modificó durante la campaña experimental para cambiar el plano de rotura por rasante. La Imagen 1 muestra la disposición del refuerzo longitudinal. Se dispuso una cuantía de armado longitudinal para que toda el ala se comprimiera en su estado final. De esta forma, se obtuvo el máximo ala-alma.

La configuración de los ensayos experimentales se muestra en la Imagen 2. Los especímenes se montaron sobre dos soportes simétricos. La carga de estas vigas se aplicó en dos puntos simétricos. La Imagen 3 muestra la configuración de carga. La viga fue colocada sobre dos apoyos que permitían la rotación perpendicular al plano de flexión. Se impidió el movimiento horizontal en uno de los apoyos, mientras que se permitió el movimiento horizontal en el otro extremo con el objetivo de evitar la deformación axial del elemento. Se diseñó una viga de acero para dividir la carga del actuador en dos puntos de carga. Esta viga de acero se apoyaba sobre dos perfiles de acero macizo colocados en la viga. Se colocó una capa de neopreno entre la viga y cada uno de los dos perfiles de acero macizo para regularizar la superficie de contacto.

La separación entre los puntos de carga era algo más ancha que el doble de la profundidad de la viga para asegurar que la sección central se sometiera a las condiciones adecuadas para aplicar las hipótesis de la teoría clásica de la viga según el principio de Saint-Venant. La Imagen 3 muestra el esquema de carga de la viga.

Los parámetros de estudio del programa experimental fueron la cuantía de armado transversal en las alas y el contenido de fibra de acero del hormigón. Las vigas se fabricaron con una cuantía de armado transversal teórica insuficiente para, de esta forma, forzar la rotura por rasante alma-ala y así analizar la contribución de las fibras.

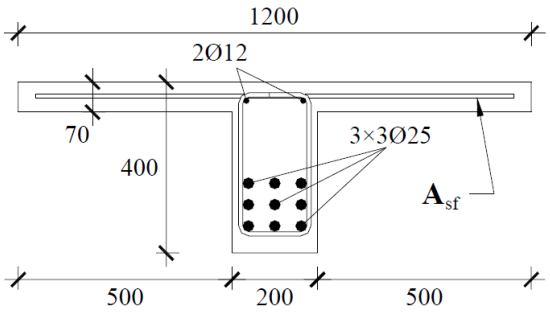


Imagen 1. Sección transversal. Image 1. Cross section



Experimental programme

The objective of the experimental programme was to analyse the influence of metallic fibres in the longitudinal shear strength of T-beams.

Specimens

Thirteen isostatic 5-metre-long T-beams were tested. The cross section (Image 1) had flanges that were 1200 mm wide and 70 mm thick. A flange size (width and thickness) was considered with the objective of studying longitudinal shear behaviour at web-flange junction (strength and failure mode). Flange size was defined so as the vertical load that causes web-flange junction cracking by longitudinal shear was half the vertical load that theoretically causes bending failure. The total cross section depth was 400 mm with a web thickness of 200 mm (Image 1). The distribution of the longitudinal and transverse reinforcements in the web was the same in all specimens. Initially, geometrical concrete cover was established at 30 mm, but was modified during the experimental campaign to change the longitudinal shear failure plane. Image 1 displays the cross section geometry and the longitudinal reinforcement arrangement. A longitudinal reinforcement ratio was arranged in order for the entire flange to be compressed in ultimate state. In this way, the maximum web-flange longitudinal shear was obtained.

The outer configuration of test is shown in Image 2. Specimens were mounted onto two symmetric supports. The loading of these beams was applied at two symmetric points. Image 3 depicts the loading configuration. Beams laid on two supports that allowed the rotation perpendicular to the bending plane. The horizontal movement was prevented in one of the supports, while the horizontal movement is allowed in the other end with the objective of avoiding the axial strain of the element. A steel beam was designed to divide the load of the actuator into two loading points, connected to a joint for keeping the load vertical all the time. This steel beam laid on two solid steel profiles placed on the beam. A neoprene layer was placed between the beam and each of the two solid steel profiles in order to regularize contact surface.

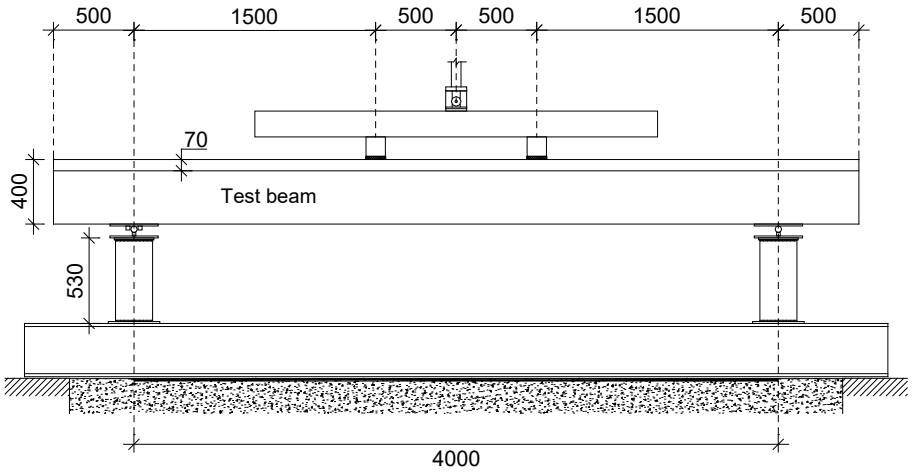


Imagen 3. Configuración de las cargas. Image 3. Loading set up

The study parameters of the experimental programme were the transverse reinforcement ratio in flanges and the steel fibre content. The beams were manufactured with an insufficient theoretical transverse reinforcement ratio to force the web-flange longitudinal shear failure and thus analyse the contribution of the fibres.

La Tabla 1 muestra los detalles de los 13 especímenes. Se establecieron cuatro familias de vigas. El contenido de fibra de acero varió dentro de cada familia, a excepción del espécimen V4-0, que consistió en una sola viga de hormigón armado que se adoptó como viga de referencia. La Imagen 4 muestra un ejemplo de la distribución de los refuerzos transversales del ala.

Tabla 1 Nomenclatura de los especímenes
Table 1 Specimen notation

Family	Flange transverse reinforcement area (A_{sf})	Steel fibre content kg/m³			
		0	20	30	40
V1	87.5 mm²/m [7Ø8 in 4 m]	V1-0	V1-20	V1-30	V1-40
V2	179,5 mm²/m [Ø8/280mm]	V2-0	V2-20	V2-30	V2-40
V3	359,0 mm²/m [Ø8/140mm]	V3-0	V3-20	V3-30	V3-40
V4	561,0 mm²/m [Ø10/140mm]	V4-0	-	-	-

Se estableció una resistencia nominal del hormigón a compresión de 25 MPa. El acero utilizado en todas las armaduras de las vigas fue B500SD. El tipo de fibras de acero fue BASF Masterfiber 530, cuyo límite elástico es superior a 3000 MPa, 30 mm de largo, 0,35 mm de diámetro, con una esbeltez de 86 y un módulo de elasticidad de 190 GPa.

Resultados: Modos de rotura

En general, se produjeron fisuras longitudinales en las uniones entre ala y ala. Esta fisuración apareció por primera vez en el borde inferior del encuentro. También se produjo fisuración diagonal con un ángulo de inclinación de 45º con respecto al eje longitudinal de la viga.

La rotura por rasante del ala del alma ocurrió en 6 de 13 vigas. El plano de rotura fue vertical en tres probetas (V1-0, V1-20 y V1-30) según el plano vertical (1-2) de la Imagen 5.a y b. El plano de rotura fue horizontal en 3 probetas (V2-0, V3-0 y V2-20) según el plano horizontal (1-3) en la Imagen 5.a y c. El plano de rotura horizontal se presentó en las primeras vigas ensayadas, debido a que el recubrimiento de hormigón geométrico empleado era excesivo en comparación con el espesor de ala (25/30 mm vs 70 mm). Al utilizar separadores de 30 mm en los estribos, el armado transversal del alma permaneció en la mitad inferior del espesor del ala, que fue de 70 mm. Las patillas del armado transversal del alma provocaron un plano de rotura anormal, perturbando significativamente el desarrollo del otro mecanismo de rotura. El recubrimiento del hormigón se redujo a 12 mm, lo que resultó en dos roturas más por rasante ala - alma (V1-20 y V1-30) de acuerdo con una superficie vertical tipo 1-2 (Imagen 5.a). Al reducir el recubrimiento, disminuyó el rasante ala - alma en el plano 1-3.

Las vigas que fallaron debido al rasante entre el ala y el alma según un plano vertical de la unión alma-ala (V1-0, V1-20 y V1-30), presentaron la menor cuantía de armadura transversal de ala (15,5% de la cuantía mínima) y un contenido de fibras de acero menor o igual a 30 kg/m^3. En última instancia, la fisuración longitudinal e inclinada del ala eran muy visibles y el desplazamiento relativo entre el ala y el alma era importante (Imagen 5.b).

Las vigas que fallaron debido al rasante entre el ala y el alma según un plano horizontal (V2-0 y V3-0), tenían un recubrimiento geométrico de hormigón de 25 o 30 mm, cuantía de armadura transversal de ala inferior a la requerida (31,6% y 63,2%) y sin fibras de acero. En estos casos, se observó un desplazamiento relativo del ala del alma. Toda el ala se separó del alma en el caso de la viga V2-0 sin fibras de acero (Imagen 5.c). La combinación insuficiente de armado del ala y el contenido de fibras de acero, además del excesivo recubrimiento de hormigón, significó la pérdida de integridad de la sección transversal.

Table 1 shows the details of the 13 specimens. The difference between them lay in the steel fibre content (4 made with conventional concrete and 9 with FRC) and in the flange transversal reinforcement area (A_{sf}). Four families of beams were established. The steel fibre content varied within each family, except for specimen V4-0, which consisted of a single reinforced concrete beam that was adopted as a reference beam. Image 4 displays an example of the distribution of the flange transverse reinforcements.

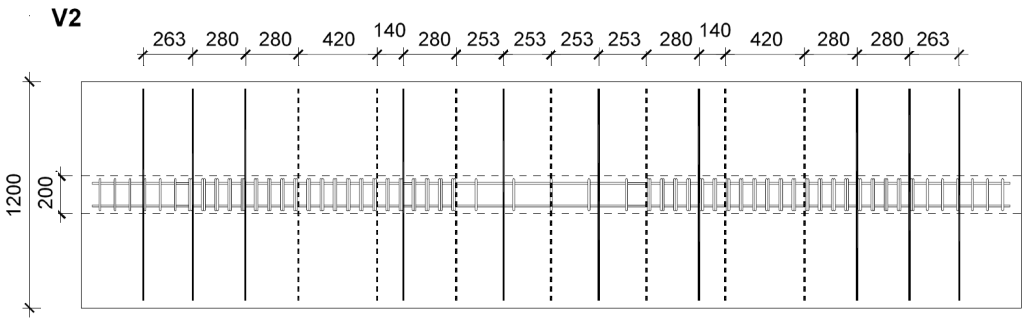


Imagen 4. Ejemplo de configuración de la armadura transversal de las alas para el caso de los especímenes del tipo V2
Image 4. Example of flange transverse reinforcement configuration in case of V2 specimens

A nominal compressive concrete strength of 25 MPa was set. The steel used in all the beam reinforcements was B500SD. The type of steel fibres was BASF Masterfiber 530, whose yield stress was higher than 3000 MPa, 30 mm long, 0.35 mm in diameter, with a slenderness of 86 and an elastic modulus of 190 GPa.

Results: Failure modes

In general, longitudinal cracking occurred at the web-flange junctions. This cracking first appeared on the bottom edge of the encounter. Diagonal cracking was also produced with an inclination angle of 45º in relation to the beam's longitudinal axis.

The web-flange longitudinal shear failure occurred in 6 out of 13 beams. The failure plane was vertical in three specimens (V1-0, V1-20 and V1-30) according to the vertical plane (1-2) in Image 5.a and b. The failure plane was horizontal in the other 3 specimens (V2-0, V3-0 and V2-20) according to the horizontal plane (1-3) in Image 5.a and c. The horizontal failure plane occurred in the first beams that were tested, because the employed geometrical concrete cover was excessive in comparison with the flange thickness (25/30 mm vs 70 mm). When using 30 mm separators on the stirrups, the web transverse reinforcement remained in the lower half of the flange thickness, which was 70 mm. The legs of the transverse reinforcement of the web introduced an abnormal failure plane, disturbing significantly the development of the other failure mechanism. The concrete cover was reduced to 12 mm, which resulted in two more web-flange longitudinal shear failures (V1-20 and V1-30) according to a vertical surface type 1-2 (Image 5.a). By reducing the coating, web-flange longitudinal shear in plane 1-3 decreased.

The three beams that failed due to the longitudinal shear between the flange and web according to a vertical plane of the web-flange junction (V1-0, V1-20 and V1-30), had the lowest flange transverse reinforcement ratio (15.5% of the minimum transverse reinforcement ratio) and had a steel fibre content lower or equal to 30 kg/m3. In ultimate situation, the flange longitudinal and inclined cracking were very visible and the relative displacement between the flange and the web was important (Image 5.b).

The beams that failed due to the longitudinal shear between the flange and web according to a horizontal plane of the web-flange junction (V2-0 and V3-0), had a geometrical concrete cover of 25 or 30 mm, a flange transverse reinforcement ratio lower than required (31.6% and 63.2%) and no steel fibres. In these cases, a relative web-flange displacement was observed. The entire flange separated from the web in the case of beam V2-0 with no steel fibres (Image 5.c). The insufficient combination of the flange transverse reinforcement and the steel fibres content in addition to the excessive geometrical concrete cover meant the integrity loss of the cross section.

El modo de rotura por flexión ocurrió en tres probetas: V2-40, V3-40 y V2-30. Las vigas V2-40 y V3-40 presentaron mayor contenido de fibra (40 kg/m^3) y una cuantía de armadura transversal en las alas inferior a la requerida (31,6% y 63,2%). La viga V2-30 tenía el 31,6% de la cuantía de armadura transversal requerida y 30 kg/m^3 de contenido de fibra. La red de fisuras longitudinales e inclinadas en las alas fue difícil de observar. En estas probetas, una combinación de contenido de fibra (mayor o igual a 30 kg/m^3) y una cuantía de armadura transversal del ala superior fueron suficientes para controlar el ancho de fisura y asegurar la integridad de la sección. En general, el modo de rotura fue frágil debido al aplastamiento del hormigón en la sección de aplicación de la carga (Imagen 5.d). La armadura longitudinal traccionada se mantuvo en el rango elástico, excepto en la viga V2-30. Además, la armadura comprimida pandeó cuando el recubrimiento del hormigón se degradó (Imagen 5.e y f).

Dos vigas sufrieron la rotura por flexión con fisuración por rasante. Este fallo ocurrió en las vigas V3-20 y V3-30, que tenían el 60% de la cuantía de armadura transversal requerida en el ala y un contenido de fibra de 20 kg/m^3 y 30 kg/m^3. Esta rotura correspondió a una situación intermedia entre la rotura por flexión y la rotura por rasante. En este caso, la fisuración longitudinal e inclinada en las alas fue visible (Imagen 6.a). La combinación del armado transversal con las fibras de acero fue suficiente para controlar el ancho de la fisura y la integridad de la sección. Tampoco hubo ningún desplazamiento relativo del ala del alma. La rotura se debió al aplastamiento del hormigón en la sección de carga (Imagen 6.a), con el refuerzo longitudinal cediendo y con una importante fisuración por rasante entre ala y el alma (Imagen 6.b).

Finalmente, se produjo una rotura inesperada por cortante en las vigas V1-40 y V4-0 debido a la presencia de coqueras en el alma. La causa de estos huecos fue una mala compactación del hormigón. La presencia de huecos redujo tanto la capacidad resistente del hormigón como la adherencia de los refuerzos longitudinales. Este efecto combinado se puede observar en el alma de la Imagen 6.c.

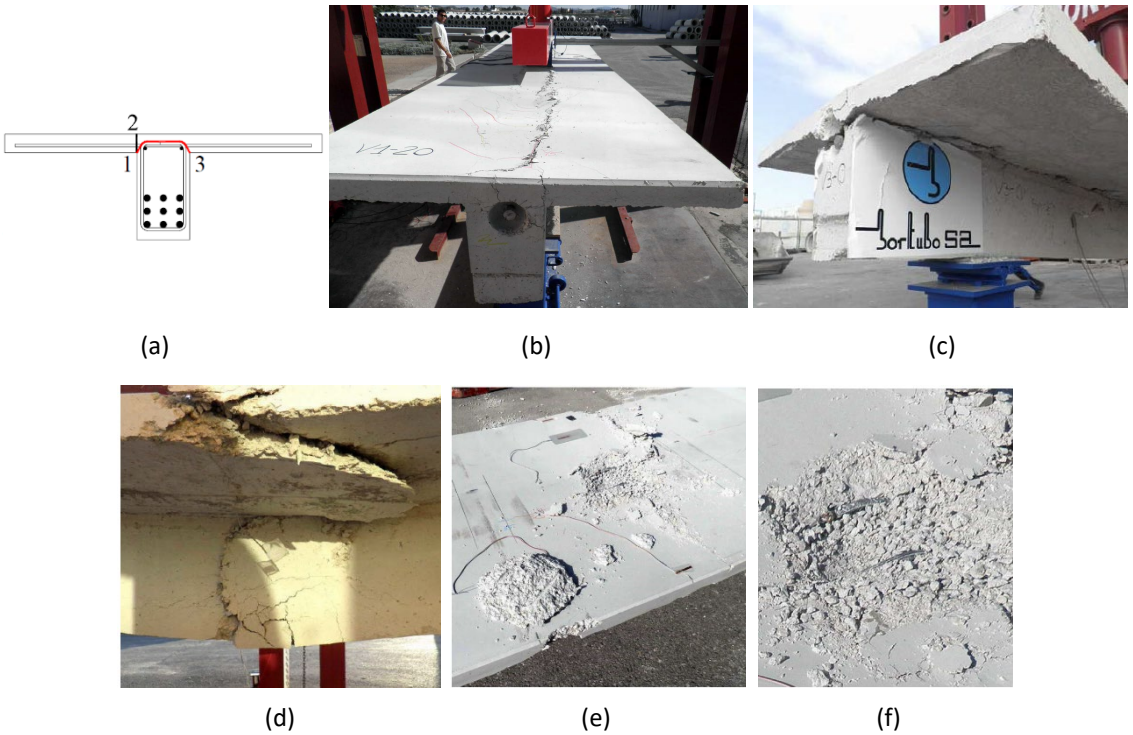


Imagen 5. Modos de fallo de los especímenes: (a) Posibles planos de rotura de rasante ala-alma; (b) Rasante horizontal ala-alma (V3-0); (c) Rasante vertical ala-alma (V1-20); (d) Fallo por flexión (V2-30): vista inferior de ala y alma; (e) Fallo por flexión (V2-30): vista superior del ala (aplastamiento del hormigón); (f) Fallo por flexión (V2-30): pandeo de las armaduras comprimidas. Image 5. Specimen failure modes: (a) Possible web-flange longitudinal shear failure planes: 1-2 vertical plane, 1-3 horizontal plane; (b) Web-flange longitudinal shear H (V3-0); (c) Web-flange longitudinal shear V (V1-20); (d) Bending failure (V2-30): web and flange bottom part view; (e) Bending failure (V2-30): flange top side view (concrete crushing); (f) Bending failure (V2-30): compressed reinforcement buckling detail

The bending failure mode occurred in three specimens: V2-40, V3-40 and V2-30. The beams V2-40 and V3-40 had higher fibre content (40 kg/m^3) and a transverse reinforcement ratio in the flanges lower than required (31.6% and 63.2%). The beam V2-30 had 31.6% of the required transverse reinforcement ratio and 30 kg/m3 of fibre content. The longitudinal and inclined cracking network in the flanges was difficult to observe. In these specimens, a combination of fibre content (greater than or equal to 30 kg/m3) and a flange transverse reinforcement ratio were sufficient to control the crack width and ensure the integrity of the section. In general, the failure mode was brittle due to concrete crushing in the loading section (Image 5.d). The tensioned longitudinal reinforcement remained in the elastic range, except in beam V2-30. In addition, the compressed reinforcement buckled when the concrete cover spalled (Image 5.e and f).

Two beams underwent bending failure with longitudinal shear cracking. This failure occurred in beams V3-20 and V3-30, which had 60% of the required flange transverse reinforcement ratio and a fibre content of 20 kg/m3 and 30 kg/m3. This failure corresponded to an intermediate situation between bending failure and web-flange longitudinal shear failure. In this case, the longitudinal and inclined cracking network in the flanges was visible (Image 6.a). The combination of transverse reinforcement with the steel fibres was sufficient to control the crack width and the integrity of the section. There was not any relative web-flange displacement either. The failure was due to concrete crushing in the loading section (Image 6.a), with longitudinal reinforcement yielding and with a significant web-flange longitudinal shear cracking (Image 6.b).

Finally, an unexpected failure by vertical shear occurred in beams V1-40 and V4-0 due to the presence of the hollows in the web. The cause of these hollows was a poor concrete compaction. The presence of hollows reduced both the strength capacity of the struts and the adherence of the longitudinal reinforcements. This combined effect can be observed in the web in Image 6.c.



Imagen 6. Modos de fallo de los especímenes: (a) Flexión con fisuración por rasante (V3-20), vista general tras el ensayo; (b) Flexión con fisuración por rasante (V3-20), detalles de las fisuras de rasante en la parte superior de las alas; (c) Fallo por cortante debido a la existencia de cocqueras en el alma (Vi-40). Image 6. Specimen failure modes: (a) Bending with longitudinal shear cracking (V3-20), general post-test specimen view; (b) Bending with longitudinal shear cracking (V3-20), detail of shear cracks on the flange top side; (c) Vertical shear H, due to the presence of hollows in concrete (V1-40).

Conclusions

- Steel fibres improved the longitudinal shear strength in T-beams with a lower transverse reinforcement ratio than that required.
- Fibre content and the flange transverse reinforcement ratio can determine the failure mode.
- The tested beams went through the following stages in the ultimate state due to web-flange shear: pronounced longitudinal cracking at the web-flange junctions, yielding of flange transverse reinforcements, an increase in the longitudinal strains in the web and a reduced flange effective width.
- A relatively small concrete cover thickness of compressed reinforcements plus a high amount of these stirrups can cause web-flange shear failure along a horizontal plane instead of along a vertical plane at the web-flange junction.

- According to the experimental results, longitudinal shear cracking started on the lower side of the web-flange junction. This behaviour was also observed by Tizatto and Shehata (Tizatto and Shehata 1990).

Conclusiones

- Las fibras de acero mejoran la resistencia a rasante en vigas en T con una cuantía de armado transversal inferior al requerido.
- El contenido de fibras y la cuantía de armado transversal del ala pueden determinar el modo de rotura.
- Las vigas ensayadas pasaron por las siguientes etapas en el estado final debido al rasante alma-ala: pronunciada fisuración longitudinal en las uniones alma-ala, plastificación de las armaduras transversales del ala, aumento de las deformaciones longitudinales en el alma y reducción efectiva del ancho del ala.
- Un espesor del recubrimiento de hormigón relativamente pequeño más una gran cantidad de estos estribos puede causar roturas por rasante ala-alma a lo largo de un plano horizontal en lugar de a lo largo de un plano vertical en la unión del ala del alma.
- De acuerdo con los resultados experimentales, la fisuración por rasante comenzó en la parte inferior de la unión entre alma y ala. Este comportamiento también fue observado por Tizatto y Shehata (Tizatto and Shehata 1990).

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Abdul-Ahad, Ramzi B., and Omer Qarani Aziz. 1999. “Flexural Strength of Reinforced Concrete T-Beams with Steel Fibers.” *Cement and Concrete Composites* 21(4): 263–68. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946599000098.
- BS EN 1992-1-1. 2004. 1 British Standards Institution *Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part 1-1 : General Rules and Rules for Buildings*. http://files/204/EN 1992-1-12004.pdf.
- Fomento, España. Ministerio de, and España. Comisión Permanente del Hormigón. 2010. Normativas Instrucción / Ministerio de Fomento *EHE-08 : Instrucción de hormigón estructural : con comentarios de los miembros de la Comisión Permanente del Hormigón*. Ministerio de Fomento, Secretaría General Técnica. http://files/46/EHE-08 [Con comentarios].pdf.
- Kani, Mario W., Mark W. Huggins, and Rudi R. Wittkopp. 1979. *Kani on Shear in Reinforced Concrete*. University of Toronto, Dept. of Civil Engineering. https://books.google.es/books?id=ccRRAAAAMAAJ.
- Kuo, Wu Wei, Thomas T.C. Hsu, and Shyh Jiann Hwang. 2015. “Shear Strength of Reinforced Concrete Beams.” *ACI Structural Journal* 112(3): 408–9.
- Leonhardt, F. 1970. VI Fip Congress Prague, Session IV *Shear and Torsion in Prestressed Concrete*. Cement & Concrete Association. https://books.google.es/books?id=ElpKQwAACAAJ.
- Razaqpur, Abdul Ghani, and Amin Ghali. 1984. “Forces At Flange-Web Connections in T-Beams.” *Canadian journal of civil engineering* 11(4): 943–54.
- Tizatto, Vanderley, and Lidia C.D. Shehata. 1990. “Longitudinal Shear Strength of Wide Compression Flanges.” *Materials and Structures* 23(1): 26–34. http://www.springerlink.com/index/10.1007/BF02472995.
- Tureyen, A. Koray, and Robert J. Frosch. 2003. “Concrete Shear Strength: Another Perspective.” *ACI Structural Journal* 100(5): 609–15.

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL HORMIGÓN SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE COMPOSITES DE ALTO GRAMAJE VINILESTER-POLIURETANO VS ENSAYOS ACELERADOS

STUDY OF THE INFLUENCE OF CONCRETE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH GRAMMAR VINYLESTER-POLIURETHANE COMPOSITES VS ACCELERATED TESTS.

Arsenio Navarro Muedra
Investigador Senior en el Área de Construcciones y energías Renovables; AIMPLAS. Instituto Tecnológico del Plástico; Gustave Eiffel 4, 46980 Paterna, Valencia, España. Ingeniero de Materiales, Arquitecto técnico, Doctor en Ingeniería Producción Industrial por la UPV. E-mail: anavarro@aimplas.es
Senior Researcher on the Construction and Renewable Energy Area; AIMPLAS. Technological Institute of Plastic; Gustave Eiffel 4, 46980 Paterna, Valencia, Spain. Materials Engineer, Technical Architect, Doctor in Industrial Production Engineering from the UPV. E-mail: anavarro@aimplas.es

Abstract

Composite materials in buildings are increasingly present. Both from a structural point of view, such as reinforcement, ornamental elements, etc.

Specifically, the use of vinyl ester resins has been studied extensively. Both in the maritime and industrial sectors and with less time, in the use of reinforcement in civil engineering and architectural structures as passive reinforcements. The resin used in the present work is novel, and still little used. It is a polyurethane modified bisphenol-A segment vinyl ester resin. It has a greater resistance to chemical agents such as those of the oil industry, alkaline agents and vapours; along with a lower exotherm that facilitates the manufacture of thick laminates. Currently, they are beginning to be used in methods of winding, centrifugation and simultaneous projection of fiber and resin. Furthermore, thanks to the extra addition of styrene, it leads to viscosities suitable for injection resin moulding techniques.

Previous mechanical characterization of said resin reinforced with high grammage fabric (780 g / cm2) of fiberglass E has been carried out using bending and fracture tests in mode II. The influence of contact with concrete on said material is checked, embedding inside its matrix as a reinforcement, as if it were a passive reinforcement, as well as a study of accelerated ageing in solution simulating the exudation liquid of the concrete pores (LPH). With the results obtained, its suitability for the aforementioned applications is evaluated from a mechanical point of view. The morphology of the interlaminar rupture of the laminates and its influence on the energy release process with crack propagation is also analyzed.

Keywords

Vinyl ester, polyurethane, reinforcement, mechanical properties, G_{II}, shear, fiberglass, composites.

Introducción

En el presente, la industria de la construcción e ingeniería ha empezado a conocer las bondades y ventajas de nuevos materiales estructurales de naturaleza sintética, provenientes de procesos químicos sofisticados; hoy en día conocidos como materiales compuestos. Dichos materiales en un principio sólo eran usados como materiales arquitectónicos o decorativos, pasando después a tener aplicaciones estructurales y posteriormente aplicaciones de reparación tanto estructural como estético, llegando a ser conocidos estos materiales como compuestos estructurales. Las ventajas de estos materiales se hicieron cada vez más evidentes al empezar a aplicarlos en diversas construcciones sometidas a las acciones de ambientes agresivos, plataformas marinas, depósitos, anclajes al terreno, construcciones no conductivas y no magnéticas, refuerzos de estructuras, armaduras pasivas, armaduras activas, cables, recubrimiento de túneles y pasarelas. Siendo necesario materiales que resistan altas tensiones. Tal tipo de tensiones exige de estos materiales resistencia y tenacidad a la deslaminación en condiciones de ambiente agresivo.

Para poder entender y predecir hasta cierto punto el comportamiento de los materiales compuestos es necesario conocerlos un poco más, tanto en las características de los materiales como en el comportamiento de éstos durante su proceso de aplicación.

Uno de los principales problemas de los composites, es la falla del material debido a una mala interfase entre la fibra y la matriz. Si ambos no trabajan solidariamente, puede incurrir en un fallo catastrófico. Las resinas epoxi y poliéster están ampliamente estudiadas, si bien el uso de las resinas viniléster en el sector de la construcción no lleva tanto tiempo su uso. La resina viniléster-modificada por segmentos uretano (VU) intercalados entre las unidades de bisfenol A, que se utilizará a lo largo de esta tesis posee unas propiedades novedosas muy interesantes, aúna una resistencia química excepcional con una destacada combinación de resistencia al calor y flexibilidad. Además tiene muy buena procesabilidad y propiedades de curado, es resistente a la mayoría de soluciones acuosas de sales ácidas y alcalinas y presenta una resistencia destacable especialmente contra los medios alcalinos y el agua caliente.

Debido a la incorporación de grupos uretano, puede ser fácilmente tixotropada, mostrando así mismo una mejor compatibilidad con refuerzos de fibra de aramida. Tiene además una baja exotermia durante el curado, permitiendo de este modo fabricar laminados gruesos.

La fibra utilizada ha sido un tejido compuesto por un mazo de láminas 0,90 y mat (al azar) de fibra de vidrio tipo E, es decir, vidrio borosilicatado, con escaso contenido en álcalis (menor al 1%) en forma de tejido compuesto de fibra larga en las direcciones 0º y en la dirección 90º y en la dirección 0º otra vez, tejido tipo mat de muy bajo gramaje, conformando un total de cuatro capas.

Por todas estas propiedades tan interesantes, este composite podría sustituir como refuerzo estructural al tan usado binomio epoxi y fibra de carbono, con la ventaja de que posee un precio inferior respecto al carbono, pudiendo pues competir a priori en precio y en resistencias.

Por ello, este trabajo intenta sentar las bases para la caracterización del material, tanto mecánicamente como morfológica y estructuralmente, en aras de comprobar su idoneidad dentro de estructuras de hormigón armado o como refuerzos enfocándolo hacia un trabajo de transferencia industrial directa.

Plan Experimental

Materiales

Resina

Las resinas utilizadas para este estudio ha sido de naturaleza Viniléster-poliuretano, denominada comercialmente ALTAC580, compuesta por estireno y ácido metacrílico, monoéster con propano-1,2-diol.

Introduction

Nowadays, the construction and engineering industry has started to learn about the benefits and advantages of new structural materials of synthetic nature, coming from sophisticated chemical processes; nowadays known as composite materials. These materials were initially only used as architectural or decorative materials, but later became used for structural applications and later for both structural and aesthetic repair applications, becoming known as structural composites. The advantages of these materials became increasingly evident as they began to be applied in various constructions subjected to the actions of aggressive environments, marine platforms, deposits, ground anchors, non-conductive and non-magnetic constructions, reinforcement of structures, passive reinforcement, active reinforcement, cables, covering tunnels and walkways. This requires materials that can withstand high stresses. Such stresses require these materials to be tough and resistant to delamination under aggressive environmental conditions.

In order to understand and predict to some extent the behaviour of composite materials, it is necessary to know a little more about the characteristics of the materials as well as their behaviour during the application process.

One of the main problems with composites is material failure due to a poor interface between the fibre and the matrix. If the two do not work together, catastrophic failure can occur. Epoxy and polyester resins are widely studied, although the use of vinylester resins in the construction sector has not been in use for as long. The vinylester resin - modified by urethane segments (VU) sandwiched between the bisphenol A units, which will be used throughout this thesis has very interesting novel properties, combining exceptional chemical resistance with an outstanding combination of heat resistance and flexibility. It also has very good processability and curing properties, is resistant to most aqueous solutions of acidic and alkaline salts and shows outstanding resistance especially against alkaline media and hot water.

Due to the incorporation of urethane groups, it can be easily thixotropised and shows better compatibility with aramid fibre reinforcements. It also has a low exothermicity during curing, thus allowing it to produce thick laminates.

The fibre used was a fabric composed of a 0.90 and mat (randomly) of type E glass fibre, i.e. borosilicate glass, with a low alkali content (less than 1%) in the form of a fabric composed of long fibre in the 0º direction and in the 90º direction and in the 0º direction again, a mat fabric of very low grammage, making a total of four layers.

Due to all these interesting properties, this composite could replace the much-used epoxy and carbon fibre binomial as structural reinforcement, with the advantage that it has a lower price compared to carbon, thus being able to compete a priori in price and resistance.

Therefore, this work aims to lay the foundations for the characterisation of the material, both mechanically and morphologically and structurally, in order to check its suitability in reinforced concrete structures or as reinforcements, focusing on direct industrial transfer work.

Experimental Plan

Materials

Resin

The resins used for this study were of a vinylester-polyurethane nature, commercially known as ALTAC580, composed of styrene and methacrylic acid, monoester with propane-1,2-diol.

Reinforcement used

The fibre used was a bi-directional E-type glass fibre fabric (Figure 1) supplied by the company Γ-Tensor. One layer contains long fibre mats in the 0° direction, the subsequent layer in the 90° direction, below this, in the 0° direction, a light layer of fibre interlaced as a mat. The fibre content is 780 g/m^2, balanced in each direction (50%-50%), from which 40 g/m^2 must be deducted for the interlaced fibre.

Refuerzo utilizado

La fibra utilizada ha sido un tejido bidireccional de fibra de vidrio tipo E (Figura 1) proporcionada por la empresa Γ-Tensor. Una de las capas contiene mazos de fibra larga en la dirección 0º, la subsiguiente en la dirección 90º, por debajo de ésta, en la dirección 0º, una capa ligera de fibra entrelazada a modo de mat. El contenido de fibra es 780 g/m2, equilibrado en cada dirección (50%-50%), del que hay que descontar 40 g/m2 para la fibra entrelazada.



Figure 1. Multidirectional fiberglass fabric. Magnification: fibers at 0º (foreground), 90º (horizontal) and short mat fibers (background).

Especificaciones de agentes de curado y catalizador

Para este trabajo se ha realizado la polimerización mediante peróxido de metil-etil-cetona como catalizador, y la sal de cobalto del ácido 2-etilhexanóico disuelta en un solvente adecuado, adquiridos a la empresa distribuidora Glasspol Composites. Representan un avance importante frente a los "históricos" linoleatos, talatos y naftenatos, y otros derivados de ácidos sintéticos debido a sensibles ventajas de color, olor, estabilidad, viscosidad y precio. El peróxido se añade en una proporción del 2% en volumen respecto al de la resina. Se dispersa por agitación. Seguidamente se añade el octoato de cobalto en una proporción volumétrica 0,2% también respecto de la resina. De la misma forma, se dispersa por agitación manual con varilla de vidrio.

Fabricación del laminado

El método de procesado del composite se realizará mediante moldeo por contacto a mano (hand lay-up). Los laminados compuestos se han fabricado con 4 capas 0/90/mat del tejido seleccionado, según una configuración $(0/90/mat//mat/90/0)2_S$.

Ensayos de caracterización

Los ensayos de caracterización realizados para analizar esta nueva resina han sido:

- Propiedades en Flexión, según norma UNE EN ISO 14125.
- Cizalla interlaminar según ASTM D2344
- Fractura interlaminar en Modo II según protocolo ESIS y fractografía por SEM

Estos ensayos se han realizado mediante probetas normalizadas, según las diferentes normas embebiéndolas en hormigón autocompactante (HAC) y ensayando dichas probetas a 7 y 28 días de que el HAC hubiera fraguado. Durante el fraguado del cemento, la temperatura interior se eleva. Por otro lado, la obra civil expuesta al exterior en períodos estivales, así como en latitudes meridionales y tropicales también se ve expuesta a temperaturas cercanas a 50 ºC. A la hora de emular la exudación de los poros de hormigón o solución alcalina (AS) y de acuerdo a las diferentes autores que se han estudiado, se optó por utilizar la disolución planteada por Coomarasamy e Ip (Coomarasamy, 1998) pues según el trabajo de Vikrant (Vikrant Bhise S, 2002) en la degradación de barras poliméricas era la disolución más agresiva que mayor pérdida de propiedades experimentaban sus muestras.

Con ella, se realizarán inmersiones en esta disolución de las probetas objeto de este trabajo a diferentes temperaturas para evaluar ambientes de trabajo posibles en estructuras de hormigón, concretamente a temperatura ambiente (23±2 ºC) y a 50±1 ºC, durante 8 horas, 24 horas, 48 horas, 4 días (.96 h), 7 días (168h) y 28 días (672 h).

Curing agent and catalyst specifications

For this work, polymerisation has been carried out using methyl ethyl ketone peroxide as a catalyst, and the cobalt salt of 2-ethylhexanoic acid dissolved in a suitable solvent, purchased from the distributor Glasspol Composites. They represent a major advance over the "historical" linoleates, phthalates and naphthenates, and other synthetic acid derivatives due to significant advantages in colour, odour, stability, viscosity and price. The peroxide is added in a proportion of 2% by volume to the resin. It is dispersed by stirring. The cobalt octoate is then added at a volume ratio of 0.2%, also concerning the resin. In the same way, it is dispersed by manual stirring with a glass tool.

Manufacture of the composite

The composite is processed by hand lay-up moulding. The composite laminates have been manufactured with 4 layers 0/90/mat of the selected fabric, according to a configuration $(0/90/mat//mat/90/0)_{2S}$.

Characterisation tests

The characterisation tests carried out to analyse this new resin were as follows:

- Flexural properties, according to UNE EN ISO 14125.
- Interlaminar shear stress according to ASTM D2344.
- Mode II interlaminar fracture according to ESIS protocol and SEM fractography

These tests were carried out using standardised specimens, according to the different standards, by embedding them in self-compacting concrete (SCC) and testing these specimens 7 and 28 days after the SCC had set. During the setting of the concrete, the internal temperature rises. On the other hand, civil works exposed to the outdoors in summer periods, as well as in southern and tropical latitudes, are also exposed to temperatures close to 50 °C. When it came to emulating the exudation of concrete pores or alkaline solution (AS) and according to the different authors that have been studied, it was decided to use the solution proposed by Coomarasamy and Ip (Coomarasamy, 1998) because according to the work of Vikrant (Vikrant Bhise S, 2002) in the degradation of polymeric bars, it was the most aggressive solution with the greatest loss of properties experienced by his samples.

With it, immersions in this solution of the specimens object of this work will be carried out at different temperatures to evaluate possible working environments in concrete structures, specifically at room temperature (23±2 ºC) and at 50±1 ºC, for 8 hours, 24 hours, 48 hours, 4 days (.96 h), 7 days (168h) and 28 days (672 h).

Results

The VU-glass fibre composite laminate experiences a decrease in strength and toughness mechanical properties upon prolonged exposure to 23°C in an alkaline solution, as indicated by the results in Table 1.

In this composite made with the new resin (VU) after immersion at 23 °C, after 28 days (672 h), the G_{II} energy release rate is almost the same as the initial one (3.3 kJ/m2), 55% of the flexural modulus E (8.0 GPa), and shows a property retention in flexural strength of 81% (331 MPa) and 88% of the interlaminar shear strength τ (30 MPa). The flexural elastic modulus is shown to be the most sensitive strength characteristic to exposure, but not G_{II} and τ, which are shown at high levels.

According to Chin et al (Chin, 2001), after 50 hours of water immersion, BPA vinylester resins become saturated, a fact that could be related to the recovery of properties once the first 48 hours are exceeded. In addition, Joannie also comments that the mechanical properties decrease, with an 80% decrease in tensile strength, which, in relative terms, would be consistent with our reduction in flexural strength.

The results obtained after immersion of the VU-fibreglass specimens in alkaline solution at 50 ºC are completely different from those exposed at 23 ºC, Table Table 2. Again, the flexural modulus of elasticity is the characteristic with the greatest decrease, going from 14.20 to 6.9 GPa in 672 h (-52%). The initial value of G_{II} is higher than 3.1 kJ/m2 (+52%), while τ is practically the same 34 M-

Resultados

El laminado compuesto de VU-fibra de vidrio experimenta un descenso de las propiedades mecánicas resistentes y tenaces por exposición prolongada a 23 ºC en una solución alcalina, como indican los resultados de la Tabla 1.

Tabla 1. Efecto exposición a 23 ºC en SA sobre las características resistentes y tenaces
Table 1. Effect of exposure to 23 ºC in AS on strength and toughness characteristics

Horas solución alcalina Tº. Ambiente / Hours AS R.Tº	G_{II} (J/m^2)	E_F (GPa)	R (MPa)	T (MPa)
0	3,1± 0,2	14,5± 0,3	410 ± 39	34± 5
8	3,2± 0,2	10,7± 0,5	474± 31	31± 5
24	2,4± 0,3	7,7± 1,7	491± 72	30± 2
48	2,2± 0,3	4,8± 1.1	459± 106	34± 5
96	4,4± 0,4	5,8± 0,9	476± 131	35± 2
168	4,0± 0,3	9,7± 0,6	418± 44	41± 1
672	3,3± 0,2	8,0± 0,8	331± 20	30± 6

En este composite fabricado con la nueva resina (VU) tras estar inmersa a 23 ºC, después de 28 días (672 h), la tasa de liberación de energía G_{II} es prácticamente la misma que la inicial (3,3 kJ/m2), 55% el módulo a flexión E (8,0 GPa), y presenta una retención de propiedades en la resistencia a la flexión del 81% (331 MPa) y 88% de la resistencia a cizalladura interlaminar τ (30 MPa). El módulo elástico a flexión se muestra como la característica resistente más sensible a la exposición, pero no así G_{II} ni τ, que se muestran en niveles altos.

Según Chin et al (Chin, 2001), a partir de las 50 horas de inmersión en agua, las resinas de viniléster BPA quedan saturadas, hecho que podría estar relacionado con esa recuperación de propiedades una vez se sobrepasan las primeras 48 horas. Además, Joannie también comenta que las propiedades mecánicas decrecen, con un descenso del 80% en su resistencia a la tracción, hecho que, en términos relativos, concordaría con nuestra reducción en la resistencia a flexión.

Los resultados obtenidos tras la inmersión de las probetas de VU-fibra de vidrio en solución alcalina a 50 ºC son completamente diferente a las expuestas a 23 ºC, Tabla 2. De nuevo, el módulo elástico a flexión es la característica con mayor detrimento, pasa de 14,20 a 6,9 GPa en 672 h (-52%). El valor inicial de G_{II} es superior a 3,1 kJ/m2 (+52%), mientras que τ es prácticamente igual 34 MPa (97% retenido) al igual que la resistencia a flexión (R), que mantiene el 90% del inicial; posiblemente debido al ablandamiento de la resina o procesos de reticulación secundaria que se han producido por el aporte de temperatura.

Tabla 2. Efecto exposición a 50 ºC en SA sobre las características resistentes y tenaces
Table 2. Effect of exposure to 50 ºC in AS on strength and toughness characteristics

Horas solución alcalina 50º C / Hours AS 50º C	G_{II} (J/m^2)	E_F (GPa)	R (MPa)	T (MPa)
0	3,1± 0,2	14,5± 0,3	410 ± 39	34± 5
8	10,8± 0,5	9,7± 0,8	489 ± 123	42± 3
24	7,1± 0,5	7,6± 0,6	441 ± 133	33± 5
48	5,5± 0,4	8,8± 0,8	509 ± 100	35± 4
96	5,2± 0,3	6,5± 0,7	455 ± 79	38± 3
168	5,2± 0,3	8,9± 0,9	465 ± 69	41± 5
672	4,7± 0,3	6,9± 0,9	368 ± 90	33± 3

Según Chin et al (Chin, 2001), las propiedades mecánicas decrecen en diferentes ambientes como son el agua salada, y el ambiente del exudado del hormigón o "pore solution" (PS) a 22 ºC, 60 ºC y

-Pa (97% retained) as is the flexural strength (R), which maintains 90% of the initial one; possibly due to resin softening or secondary cross-linking processes that have occurred due to the temperature input.

According to Joannie et al (Chin, 2001), the mechanical properties decrease in different environments such as salt water, and the pore solution (PS) environment at 22 ºC, 60 ºC and 90 ºC, but it is in the PS where a more pronounced decrease is experienced at 60 C and 90 ºC, with a decrease of up to 60% in its tensile strength. In our case, this factor was only reduced by 10% in bending.

In his case, Joannie used a vinylester resin (BPA), therefore, and we refer to the results, this new resin (VU) is able to maintain better mechanical properties than its predecessors both in terms of interfacial fibre-matrix adhesion parameters (τ and G_{II} values).

These results are in agreement with those reported by Dukes et al. (D., 1971), and Karbhari et al. (Karbhari V. M., 2001), (Figure 2), where a rapid drop in mechanical properties and a subsequent rebound in mechanical properties is experienced, thanks to the fact that, with longer exposure time, the residual cure that might exist is shortened and therefore stiffens at higher ages.

On the other hand, and starting from the reference laminate, specimens have been introduced in self-compacting concrete (SCC) paste, from which they have been extracted again for testing after 7 days (H7D), 28 days (H28D) and 1 year (H1A). The evolution of the properties are very similar to the standard (T ambient/24h + 100 ºC/3h) Table 3.

These not so important reductions at early ages are mainly due to the fact that concrete is a Newtonian fluid. Its capacity to diffuse inside the specimens is lower than that of alkaline solutions. This again shows the good properties of the VU resin in terms of its adhesion to the fibres and its ability to generate a good fibre-matrix contact interface.

On the other hand, and in the same line of experimentation embedding composites in concrete, Dejke (Dejke, 2001) obtained very similar results, where they also experience decreases in both stiffness and interlaminar shear strength in the same order of range. That is to say, the shear properties are almost not affected, while the stiffness properties drop by up to 40%, or in other words, a retention of properties of up to 60%, very similar to what happens with our experimental work, although the water/cement ratio (w/c) in his work was 0.5 (common value), compared to 0.45 in ours (greater quantity of cement and therefore a greater aggressive basic component).

Therefore, in view of the excellent mechanical properties obtained with this new VU resin, we can say that it has potential applications for use in reinforcement embedded in concrete, since its mechanical properties do not decay and are maintained even in its early ages, while the concrete remains in a Newtonian state, which is when it is most likely to attack.

In order to correlate the results obtained in the resulting mechanical properties, as well as the thermal analyses, which will be discussed in the next section, the fractographic surfaces of the laminates exposed to both alkaline solution and concrete were studied. The fractographic surfaces of the laminates exposed to both alkaline solution and concrete have been studied, as well as the effect of curing. For this, we have used scanning electron microscopy.

It should be noted that when interlaminar shearing was performed, all the samples showed the typical hackle marks typical of interlaminar cracking under shear stresses in the resin-rich zone between the fibre layers at 0º.

The manufacturer's recommended curing material exposed to 23°C in alkaline solution has its G_{II} value decreased in most cases. Figure 3 shows how the VU resin shows less ridge density, with more loose fibres detached from the matrix. In contrast, a less affected material exposed for 4 days (4.4 kJ/m^2), shows more ridges and good fibre attachment to the resin, preventing fibre fracture.

The fractured surface of a specimen embedded 7 days in concrete mortar is shown in Figure 4. The tenacious response of the resin can be seen by the presence of typical ridges. While they begin, the morphology of the ridges starts to become flattened. For specimens exposed to 28 days, a decrease in G_{II} to 2.6 kJ/m2 is recorded. It can also be seen that the components diffused from the

90 ºC, pero es en la PS donde se experimenta un descenso más acusado a 60 C y 90 ºC, con un descenso de hasta el 60% en su resistencia a la tracción. Factor que en nuestro caso solamente se ha reducido en un 10% a flexión.

En su caso, Joannie utilizó una resina viniléster (BPA), por tanto, y a los resultados nos remitimos, esta nueva resina (VU) es capaz de mantener mejor las propiedades mecánicas que sus antecesoras tanto en parámetros de adhesión interfase fibra matriz (valores de τ y G_{II}).

Estos resultados concuerdan con los informados por Dukes et al. (D., 1971), y Karbhari et al. (Karbhari V. M., 2001), (Figura 2), donde se experimenta una bajada de propiedades mecánicas rápida y un posterior repunte de las mismas, gracias a que, a mayor tiempo de exposición, el curado residual que pudiera existir se va acortando y por tanto rigidizándose a edades más altas.

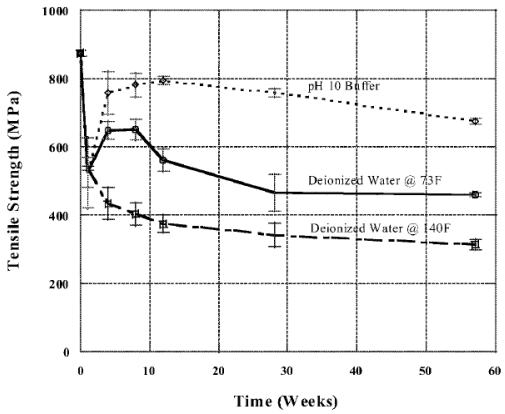


Figura 2. Efecto de la exposición de composites de VE a diferentes temperaturas [109].

Figure 2. Effect of exposure of VE composites to different temperatures [109].

Por otro lado, y partiendo del laminado de referencia, se han introducido probetas en pasta de hormigón autocompactante (HAC), de las que se han vuelto a extraer para ensayar al cabo de 7 días (H7D), 28 días (H28D) y 1 año (H1A). La evolución de las propiedades son muy semejantes respecto a la patrón (T ambiente/24h + 100 ºC/3h) Tabla 3.

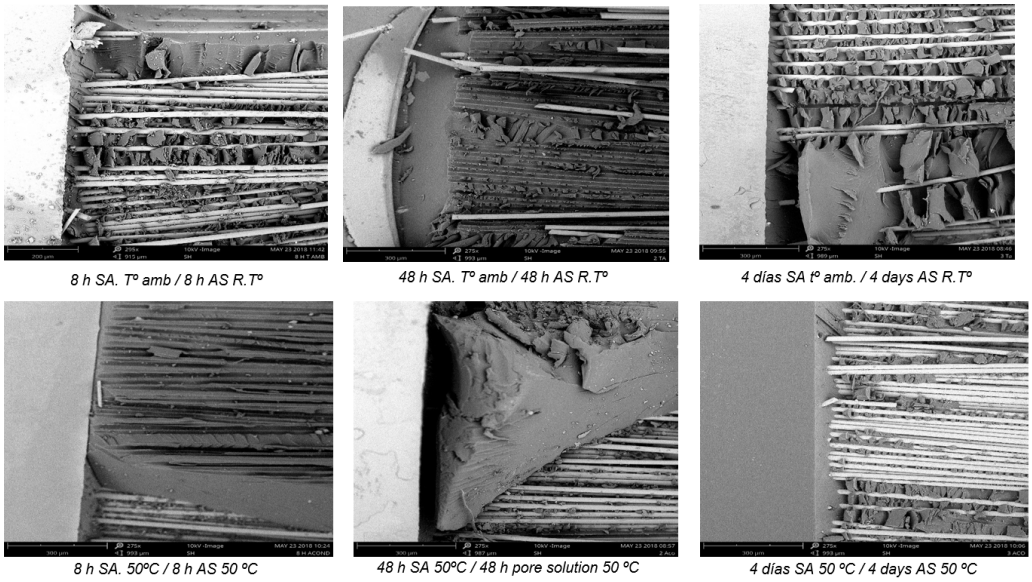
Tabla 3. Efecto exposición probetas embebidas en SCC.
Tabla 3. Exposure effect of specimens embedded in SCC

Espécimen / Specimen	G_{II} (J/m^2)	E_F (GPa)	R (MPa)	T (MPa)
Tº amb/24h + 100 ºC/3h	3,1± 0,2	14,5± 0,3	410 ± 39	34± 5
H7D (7 días/ 7 days)	4,7± 0,4	14,9± 0,8	670 ± 50	32± 11
H28D (28 días / 28 days)	2,6± 0,2	14,0± 1,1	539 ± 39	34± 6
H1A (1 año / 1 year)	3,0± 0,3	13,9± 0,9	357 ± 33	30± 5

Estas reducciones no tan importantes a edades tempranas son debidas principalmente a que el hormigón es un fluido newtoniano. Su capacidad de difundirse en el interior de las probetas es inferior al de las soluciones alcalinas. Esto vuelve a denotarnos las buenas propiedades de la resina VU en cuanto a su adherencia a las fibras y generar una buena interfase de contacto fibra-matriz.

Por su parte y en la misma línea de experimentación embebiendo composites en hormigón, Dejke (Dejke, 2001) obtuvo resultados muy semejantes, donde también experimentan descensos de resistencia tanto en la rigidez como en la cizalla interlaminar en el mismo orden de rango. Es decir, las propiedades a cizalladura casi no se ven afectadas, mientras que las propiedades en rigidez llegan a caer hasta un 40 %, o lo que es lo mismo, una retención de propiedades de hasta un 60%, muy parecido como sucede con nuestro experimental, si bien, la relación agua/cemento (a/c) en sus trabajos era de 0,5 (valor común), frente a los 0,45 del nuestro (mayor cantidad de cemento y por tanto mayor componente básico agresivo).

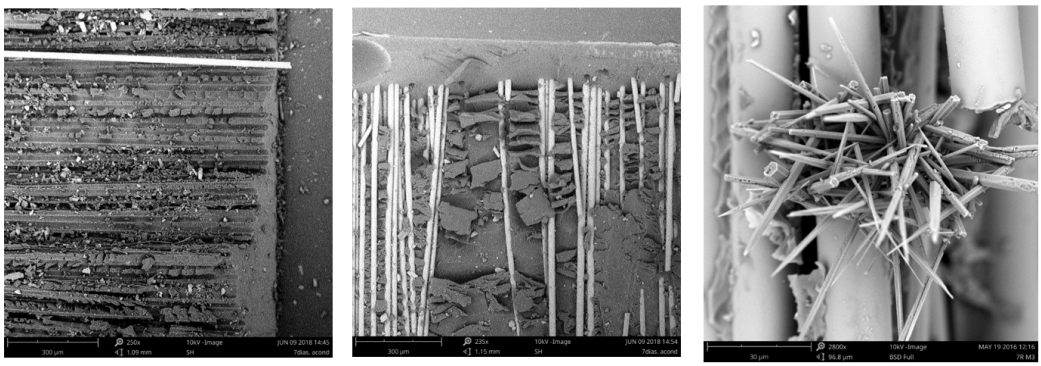
concrete into the interior of the composite produce ettringite colonies, which introduce brittleness and stress concentrators (Figure 5).



8 h SA. T° amb / 8 h AS R.T° *48 h SA. T° amb / 48 h AS R.T°* *4 días SA t° amb. / 4 days AS R.T°*

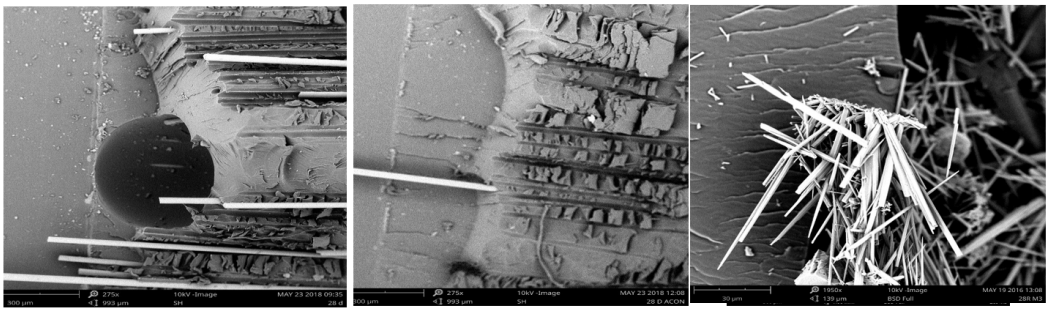
8 h SA. 50°C / 8 h AS 50 °C *48 h SA 50°C / 48 h pore solution 50 °C* *4 días SA 50 °C / 4 days AS 50 °C*

Figura 3- Fractografías de probetas analizadas modo II en SA / Figure 3. Fractographs of specimens analysed mode II in AS



7 días SA T° amb. / 7 days AS R.T° *7 días SA T° amb / 7 days AS 50 °C* *7 días SCC / 7 days SCC*

Figura 4. Fractografías de probetas analizadas modo II en HAC / Figure 4. Fractographs of specimens analysed mode II in SCC



28 days pore solution R.T° *28 days pore solution 50 °C* *28 days concrete*

Figura 5. Fractografías de probetas analizadas modo II en HAC / Figure 4. Fractographs of specimens analysed mode II in SCC

Conclusions

Therefore, in view of the excellent mechanical properties obtained with this new VU resin, we can say that it has potential applications for use in reinforcement embedded in concrete, since its mechanical properties do not decay and are maintained even in its early ages, while the concrete remains in a Newtonian state, which is when it is most likely to attack.

Para correlacionar los resultados obtenidos en las propiedades mecánicas resultantes, así como de los análisis térmicos que se comentarán en el próximo apartado. Se han estudiado las superficies de la fractografía de los laminados expuestos tanto a solución alcalina como a hormigón, como el efecto del curado. Para ello nos hemos valido de la microscopía electrónica de barrido.

Comentar que al realizar una cizalla interlaminar todas las muestras presentan las típicas formaciones de crestas y valles o lengüetas (hackle marks) típicas del agrietamiento interlaminar bajo tensiones de cizalladura sobre la zona rica en resina entre las capas de fibras a 0º.

El material de curado recomendado por el fabricante expuesto a 23 ºC en solución alcalina ve disminuido su valor de G_{II} en la mayoría de casos. En la Figura 3 se aprecia como la resina de VU muestra menos densidad de crestas, con mayor cantidad de fibras sueltas despegadas de la matriz. En contraposición, un material menos afectado expuesto durante 4 días (4,4 kJ/m2), evidencia mayor cantidad de crestas y buena fijación de la fibra a la resina evitando la fractura de estas últimas.

La superficie fracturada de un espécimen embebido 7 días en mortero de hormigón se muestra en la Figura 4. Se aprecia la respuesta tenaz de la resina por la presencia de crestas típicas. Si bien comienzan, la morfología de éstas comienza a ser aplanadas. Para ejemplares expuestos a 28 días se registra una disminución de G_{II} hasta valores 2,6 kJ/m2. Puede verse además que los componentes difundidos del hormigón hacia el interior del compuesto producen colonias de etringita, que introducen fragilidad y concentradores de tensiones (Figura 5).

Conclusiones

Por tanto, vistas las excelentes propiedades mecánicas que se han obtenido con esta nueva resina VU, podemos decir que tiene unas potenciales aplicaciones para su uso en armaduras embebidas en hormigón, puesto que sus propiedades mecánicas no decaen y se mantienen incluso en sus edades tempranas, mientras el hormigón permanece en estado newtoniano que es cuando mayor probabilidad de ataque puede tener.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Bhise S, Vikrant. Blacksburg, "Strength Degradation Of Gfrp Bars", Trabajo final de grado., Virginia, 2002.
- Coomarasamy, A. and Ip A.K.C., "Evaluation of Fiber Reinforced Plastics (FRP) Materials for Long term Durability in Concrete Structures," Proceedings of the First International Conference,. Montreal: CDCC'98, 325-336, 1998.
- Chin, Joannie W., et al."Effects of water, salt solution and simulated concrete pore solution on the properties of composite matrix resins used in civil engineering applications", Polymer Composites, Vol. 22(2), pp.282-297, April 2001.
- Dukes R. and Griffiths D. L."Marine Aspects of Carbon-Fibre and Glass-Fibre/Carbon-Fibre Composites", Proceedings of the International Conference on Carbon Fibers, their Composites and Applications , Dorset, England, 1971.
- Karbhari V. M., Rivera J., and Zhang J. "Low-Temperature Hygrothermal Degradation of Ambient Cured E-Glass/Vinylester Composites", Journal of Applied Polymer Science, 2001.
- Dejke, M. Valter Sc., "Durability And Service Life Prediction Of GFRP Bars", Chalmers University of Technology, 2001.

HYBRYDOWE PRĘTY KOMPOZYTOWE DO MONITORINGU KONSTRUKCJI

HYBRID FRP BARS FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING

Eryk Goldmann
Katedra Inżynierii Budowlanej, Wydział Budownictwa,Politechnika Śląska, Gliwice, Polska
E-mail: eryk.goldmann@polsl.pl
Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland
MSc, E-mail: eryk.goldmann@polsl.pl

Marcin Górski
Katedra Inżynierii Budowlanej, Wydział Budownictwa,Politechnika Śląska, Gliwice, Polska;
E-mail: marcin.gorski@polsl.pl
Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland, Ph.D., E-mail: marcin.gorski@polsl.pl

Abstract

Rising awareness of importance of structural health monitoring makes civil engineers look at solutions used in other branches of industry. Fiber reinforced polymer rebars are developed with addition of carbon fibers, to be used as both reinforcement and monitoring material. Preliminary tests show promising trend of measured strains. With multiple factors causing interferences, further research is needed to provide more consistent results and deeper understanding of strain reading phenomenon.

Keywords
Structural Health Monitoring, FRP bars, smart structures, smart materials, reinforcement

Introduction

Rising awareness of importance of structural monitoring makes civil engineers look at solutions used in other branches of industry. Sensors used in aerospace engineering, which utilize relation between structural deformations and conductivity, can also be applied in building structures through composite materials.

Continuous monitoring of structures can be vital in case of sensitive structures, or structures that could cause serious economical and social loses when damaged. (eg. dams, bridges, high rise buildings). Using high sensitivity sensors allows for early damage detection and undertaking appropriate measures to mitigate it.

Attempts are known of using self monitoring materials made of fibrous materials in form of stripes, fabrics and cementitious mortars with added nanoparticles or carbon fibers. Unlike those materials, using composite rods either as reinforcement or NSM (Near Surface Mounted) strengthening, can not only increase bearing capacity of a structure but also its stiffness. Using FRP rods as main reinforcement allows for more economical design of elements in aggressive enviroment.

WSTĘP

Rosnąca świadomość w kwestii znaczenia monitoringu konstrukcji budowlanych sprawia, że coraz częściej inżynierowie budownictwa sięgają po rozwiązania wykorzystywane w innych gałęziach przemysłu. Stosowane w przemyśle lotniczym czujniki bazujące na korelacji odkształceń konstrukcji ze zmianami rezystancji materiału, mogą znaleźć zastosowanie również w budownictwie, za sprawą materiałów kompozytowych.

Ciągły monitoring strukturalny jest istotny w przypadku konstrukcji wrażliwych, lub takich, których awarie mogą powodować znaczne skutki ekonomiczne i społeczne. (np. tamy, mosty, obiekty wysokościowe). Zastosowanie sensorów o wysokiej czułości pozwoli wykryć ewentualne uszkodzenia w ich wczesnym stadium, a następnie podjąć stosowne działania celem ich eliminacji.

Znane są zastosowania samomonitorujących materiałów kompozytowych w formie taśm, tkanin oraz zapraw z dodatkiem włókien lub nanocząstek węglowych. W odróżnieniu od tych materiałów, zastosowanie prętów kompozytowych, jako zbrojenia, lub w formie wzmocnienia metodą NSM (Near Surface Mounted), może oprócz zwiększenia nośności elementu, także podnieść jego sztywność. Zastosowanie prętów w charakterze zbrojenia głównego umożliwia ekonomiczne projektowanie elementów narażonych na środowisko agresywne.

Test specimens

Two types of FRP rods were used in test: carbon fiber rods with diameter of 4mm and GFRP rods with carbon core and diameter of 14mm.

Total of six elements have been prepared for testing: four casted and two precast beams, each of them 1m long. Casted beams have been reinforced with FRP rods and precast ones strengthened by NSM method. Details on materials and dimensions are shown in table 1.

Przedmiot badania

W badaniach użyto dwóch rodzajów prętów kompozytowych: prętów z włókien węglowych o średnicy 4 mm i prętów szklanych z rdzeniem węglowym o średnicy 14 mm.

Przygotowano sześć elementów badawczych: cztery belki monolityczne i dwie prefabrykowane o długości 1m. Belki monolityczne zbrojono prętami kompozytowymi, a belki prefabrykowane wzmocniono poprzez wklejenie prętów w przygotowane nacięcia. Szczegóły dotyczące wymiarów i użytych materiałów przedstawia tabela 1.



Rysunek1.Belki monolityczne z prętami hybrydowimi
Figure 1. Casted beams reinforced with hybrid bars



Rysunek2.Belki monolityczne z prętami węglowymi
Figure 2. Casted beams with carbon fiber bars



Rysunek3.Belka prefabrykowana wzmocniona prętem hybrydowym
Figure 3. Precast beam strengthened with hybrid bar



Rysunek4.Belka prefabrykowana wzmocniona prętami węglowymi
Figure 4. Precast beam strengthened with carbon fiber bars

Element	Wymiary/Dimensions [mm]	Beton/concrete	Zbrojenie/Reinforcement
CG1/CG2	120x200x1000	C30/37	ϕ14 GFRP/CFRP
CC1/CC2	120x200x1000	C30/37	2xϕ4 CFRP
NG	60x200x1000	C20/25	ϕ14 GFRP/CFRP
NC	60x200x1000	C20/25	2xϕ4 CFRP

Tabela 1.Charakterystyka badanych elementów
Table 1. Characteristics of test specimens

Experiment

During the experiment simply supported beams were loaded in two points equally spaced from the centre of the beam. Strains were measured with standard strain gauges located on a side of the specimen. Additionally, change in electric resistance of FRP bars was measured.

All of the beams have been destroyed through shearing. Beams reinforced with hybrid bars had parts of concrete split off. Rebars were not damaged although a significant slippage was observed. Bars in CC series beams were ripped.

During the tests of strengthened beams, specimens moved in the machine, therefore because of safety reasons, the test had to be stopped before destruction.

Przebieg badania

W trakcie badania swobodnie podparte belki poddano zginaniu przykładając siłę w dwóch punktach równo oddalonych od środka elementu. Prowadzono pomiar odkształceń z tensometrów umieszczonych na powierzchni bocznej belki oraz zmianę rezystancji prętów kompozytowych.

Wszystkie badane elementy doznały zniszczenia wskutek ścinania. W przypadku belek zbrojonych prętami hybrydowymi nastąpiło odłupanie betonu. Pręty nie zostały zerwane, jednak zaobserwowano znaczny poślizg względem betonu. Belki zbrojone prętami węglowymi uległy zniszczeniu poprzez zerwanie prętów.

Podczas badania belek wzmocnionych konieczne było przerwanie badania z uwagi na niebezpieczne przesunięcie się badanych elementów w maszynie wytrzymałościowej.

Results

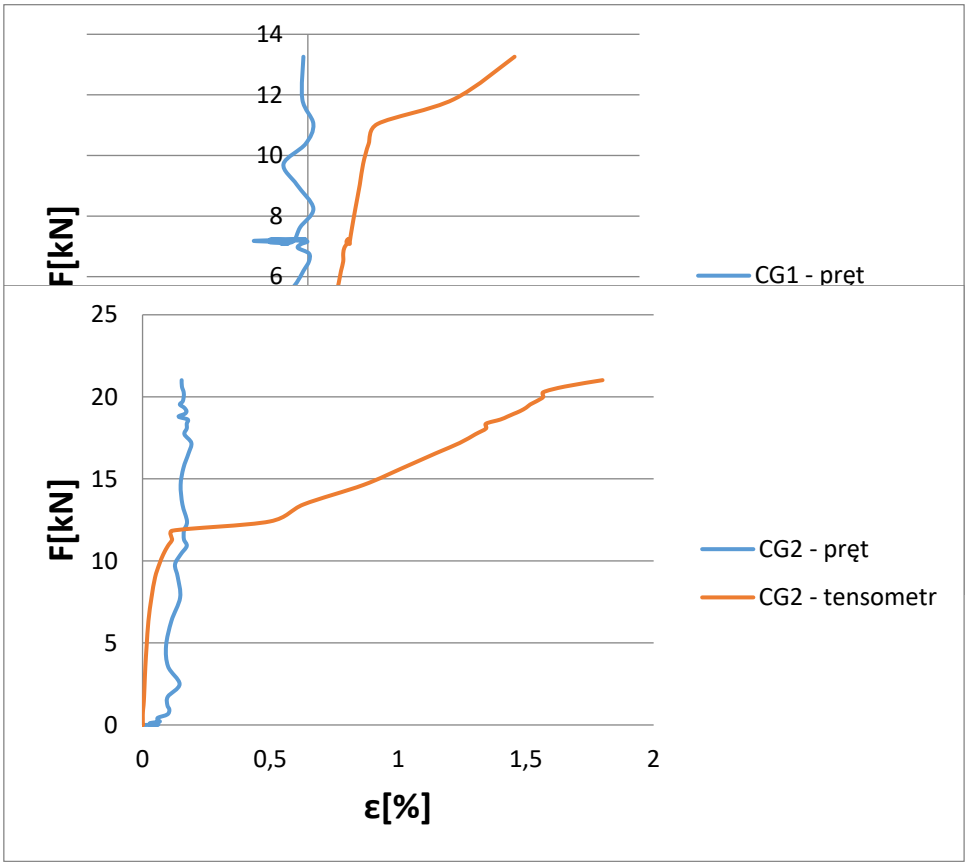
Comparing results of strain measurement with strain gauges and FRP bars shows proper trend in general. In each case numerous interferences can be seen that distort the diagrams. In case of CG and CC series an initial raise in strain without increase in load can be observed which can relate to observed bars slippage. Moreover, in CC series beams distortions in diagrams are larger and could be caused by usage of two bars measuring simultaneously. Measurements in strengthened beams show large deviations as well. In that case another factor could be deformations of the resin used to glue in the bars.

Summary of the results are shown on the graphs on figures 5-10. Blue line represents strain measured by bars, red line represents measuring by strain gauges.

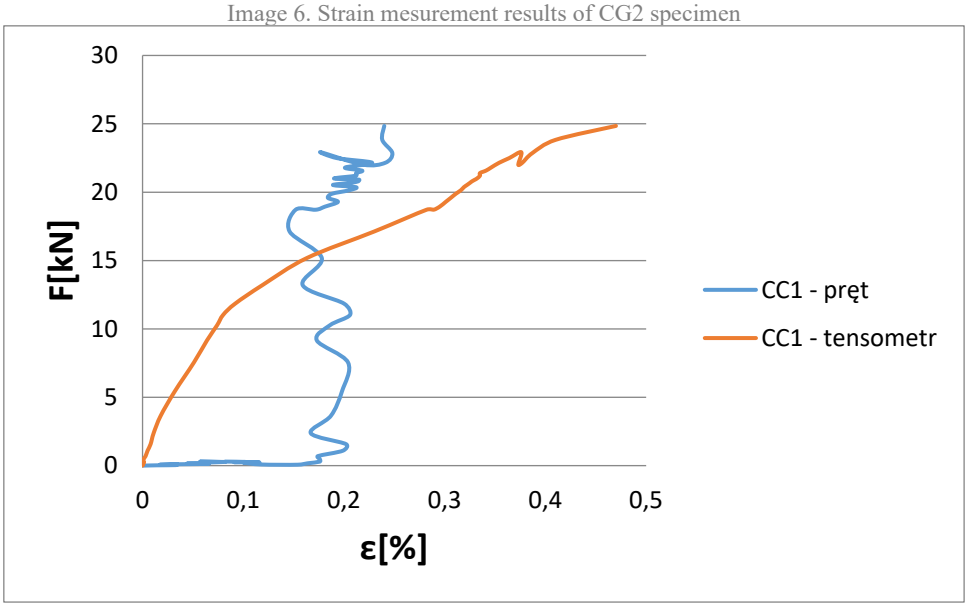
Wyniki

Porównanie odkształceń zmierzonych przy użyciu tensometrów i prętów kompozytowych pozwala zauważyć poprawny trend wyników. W każdym z przypadków wystąpiły liczne zakłócenia zniekształcające wykresy. W przypadku belek serii CG i CC zaobserwowano początkowy wzrost odkształceń bez wzrostu siły co może tłumaczyć zaobserwowany poślizg prętów. W belkach serii CC zniekształcenia wykresu są znaczne i mogą wynikać z równoległego zastosowania dwóch prętów jednocześnie. Pomiary w belkach wzmocnionych również wykazują spore odchylenia. W tym przypadku dodatkowym czynnikiem mogły być odkształcenia kleju użytego do osadzenia prętów.

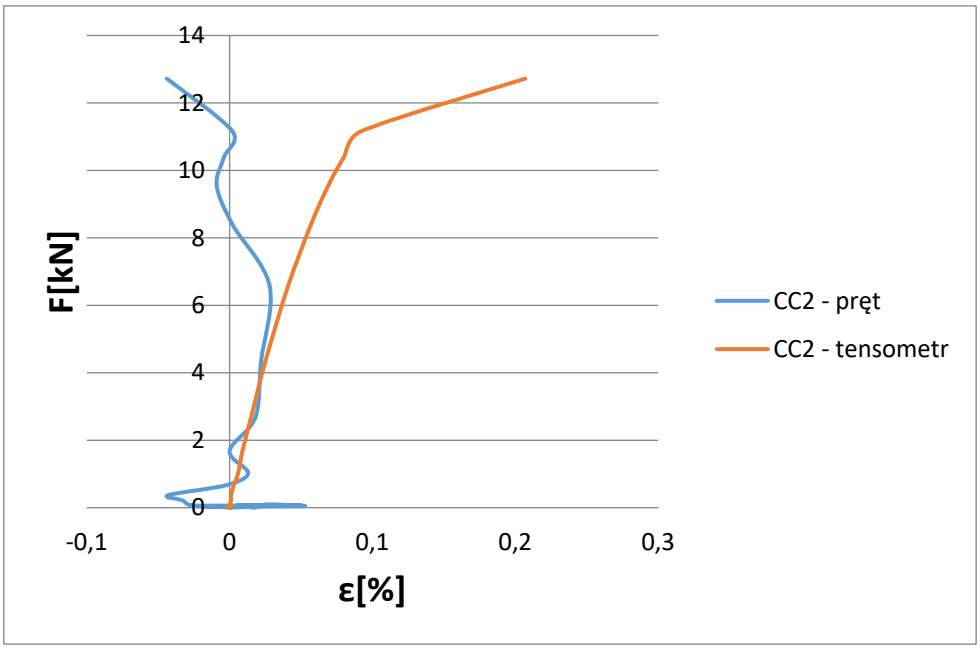
Wyniki pomiarów ilustrują poniższe wykresy na rysunkach 5-10. Niebieska linia na wykresach obrazuje wyniki pomiarów przy pomocy prętów, linia czerwona reprezentuje pomiar przy użyciu tensometrów.



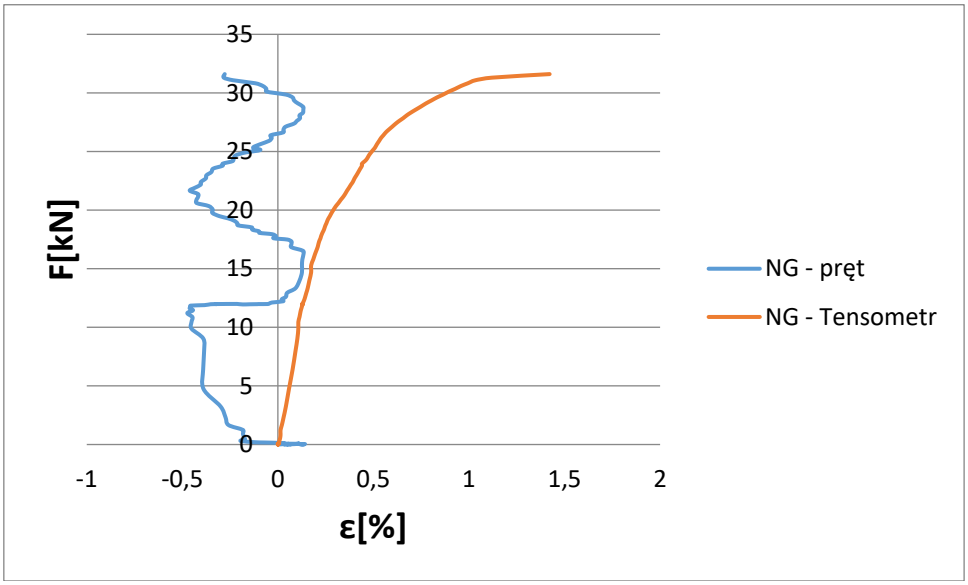
Rysunek 6.Wyniki pomiaru odkształceń belki CG2
Image 6. Strain mesurement results of CG2 specimen



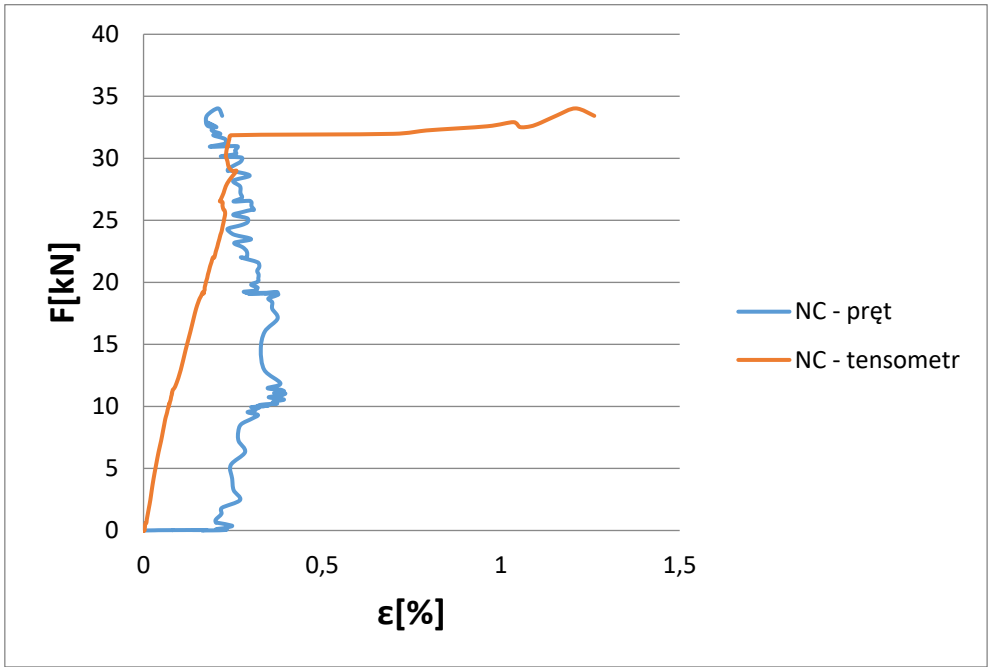
Rysunek 7.Wyniki pomiaru odkształceń belki CC1
Image 7. Strain mesurement results of CC2 specimen



Rysunek 8.Wyniki pomiaru odkształceń belki CC2
Image 8. Strain mesurement results of CC2 specimen



Rysunek 9.Wyniki pomiaru odkształceń belki NG
Image 9. Strain mesurement results of NG specimen



Rysunek 10.Wyniki pomiaru odkształceń belki NC
Image 10. Strain mesurement results of NC specimen

Conclusions

Presented research is makes for another step in developing structural health monitoring system based on smart materials. Acquired results show expected trend and might in further perspective contribute in developing more accurate and reliable monitoring system. It is important to focus on observed inaccuracies in further research, considering mainly slippage of FRP bars in concrete and readings interferences. Next step should be evaluating the influence of each particular phenomenon od strain readings then developing methods and algorithms that will allow for mitigating those interferences.

Wnioski

Przeprowadzone badania stanowią kolejny krok w stronę opracowania systemów monitoringu konstrukcji opartych na inteligentnych materiałach. Uzyskanie wyniki wykazują spodziewany trend i w dalszej perspektywie mogą przyczynić się do uzyskania dokładniejszego i bardziej niezawodnego rozwiązania. W dalszych badaniach szczególną uwagę należy zwrócić na zaobserwowane błędy odczytów tj. poślizg początkowy prętów w betonie oraz powstające zakłócenia. Kolejnym etapem badań powinno być określenie wpływu każdego z tych zjawisk na uzyskane odczyty oraz opracowanie metod i algorytmów przetwarzania sygnału, które pozwolą na ich wyeliminowanie.

Acknowledgments

Presented research program was possible thanks to Comrebars company, Authors express their gratitude.

References/Bibliografia

1. Górski M., Kotala B., Białozor R.: Rodzaje i właściwości zbrojenia niemetalicznego, XXXIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 2018.
2. Nanni A., De Luca A., Zadeh H. J.: Reinforced concrete with FRP bars: mechanics and design. CRC Press, 2014.
3. Górski M., Białozor R., Filas K.: Initial research on carbon fibers as structural health monitoring system, XXXI Salon Technologico de la Construccion EXCO, Valencia, 2018.
4. Kotynia R.: Wymiarowanie i kształtowanie wybranych konstrukcji betonowych ze zbrojeniem niemetalicznym. XXXIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 2018.

DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN RADIANTE Y CAPTACIÓN SOLAR PARA PRODUCCIÓN COMBINADA DE FRÍO Y CALOR. FASE 1

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A RADIATIVE COOLING AND SOLAR HEATING SYSTEM FOR COMBINED HEAT AND COLD PRODUCTION. PHASE 1

Albert Castell
Sustainable Energy, Machinery and Buildings (SEMB) Research Group, INSPIRES Research Centre, Universitat de Lleida.
Marc Medrano
Sustainable Energy, Machinery and Buildings (SEMB) Research Group, INSPIRES Research Centre, Universitat de Lleida.
Ingrid Martorell
Sustainable Energy, Machinery and Buildings (SEMB) Research Group, INSPIRES Research Centre, Universitat de Lleida.
Cristian Solé
Sustainable Energy, Machinery and Buildings (SEMB) Research Group, INSPIRES Research Centre, Universitat de Lleida.
Lídia Rincón
Sustainable Energy, Machinery and Buildings (SEMB) Research Group, INSPIRES Research Centre, Universitat de Lleida.
Andrea Salandin
CTF Centro de Tecnologías Físicas, Universitat Politècnica de València.
Ariadna Carrobé
Sustainable Energy, Machinery and Buildings (SEMB) Research Group, INSPIRES Research Centre.
Roger Vilà
Sustainable Energy, Machinery and Buildings (SEMB) Research Group, INSPIRES Research Centre

Abstract

A new equipment, the Radiative Collector and Emitter (RCE), able to collect solar energy to produce heat and also able to produce cold by means of night radiative cooling is developed and analyzed under the project RAD-CHC (RTI2018-097669-A-I00, funded by the Spanish Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, (2019-2021)). The project proves the viability of the equipment as well as determines its potential to produce cold and heat to be implemented in both buildings and industry. For such purpose, a new adaptive cover, capable to manage radiation with different wavelengths to allow solar collection during the day and radiative cooling during the night is developed. The main innovation of the project is the development and demonstration of the new RCE equipment, since there exists no study that combines both capacities in a single equipment and the concept has not been proved. The behaviour of the new equipment is tested experimentally and characterized and validated numerical models are developed to simulate the equipment. By means of these models the effect of different improvements and optimizations in both the equipment and the whole system are analyzed. Moreover, continuous maps of the radiant cooling potential in different European countries are developed in the project using interpolation methods. The project is structured in 2 parts or phases with different specific objectives. For Phase 1 the objectives include the state of the art about existing night radiative cooling systems, and literature update, the development of the adaptive cover, an experimental study of the new RCE equipment and the potential thermal improvements and the development of validated numerical models to simulate the equipment. Other objectives will be reached in a future Phase 2, such as the optimization of the prototype based on its integration in the building systems, the study of applications and the study of the technical, economic, and life cycle viability.

Keywords: Radiative cooling, Solar energy, Renewable heat and cold

Introducción y estado del arte

Según la *US Energy Information Administration*, se espera que la demanda mundial de energía aumente entre 2010 y 2040 alrededor del 50%. En la mayoría de los países, la producción de energía se basa en combustibles fósiles, que son los responsables del cambio climático. El sector de la construcción es uno de los principales consumidores, con un aumento constante de la demanda de aire acondicionado. Este sector representa el 40% del consumo total de energía en Europa. Así, las nuevas directivas (como la Directiva Europea 2010/31 sobre el rendimiento energético de los edificios [1]) pretenden limitar el consumo energético y aumentar la fracción renovable, con especial énfasis en la consecución de Edificios de Energía Casi Cero (nZEB) propuesta por la Comisión.

En este contexto, el proyecto RAD-CHC se centra en el desarrollo y análisis de un nuevo dispositivo, el Colector y Emisor Radiativo (RCE), capaz de recolectar energía solar para producir calor y también producir frío mediante enfriamiento radiativo nocturno (Figura 1). Así, el nuevo dispositivo RCE combina la producción de calor y frío para edificios y aplicaciones industriales. Este dispositivo podría combinarse con colectores solares ya instalados y/o sustituirlos en las nuevas instalaciones, ya que tendrá la misma funcionalidad para producir agua caliente con la ventaja de producir también agua fría. El RCE podrá producir de forma renovable Agua Caliente Sanitaria (ACS) y fría (de apoyo al sistema de refrigeración), reduciendo el consumo de energía no renovable durante todo el año, así como la potencia máxima instalada de la producción convencional.

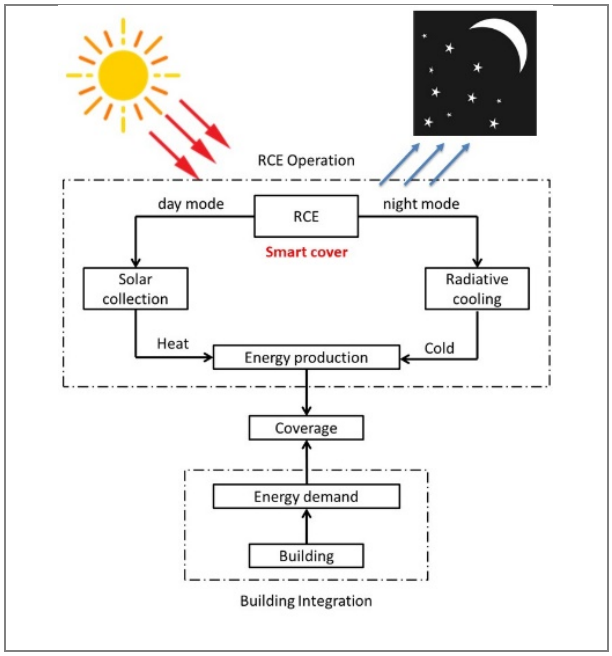


Figura 1. Diseño y funcionalidad del RCE
Figure 1. Design and functionality of the RCE

Se ha investigado mucho en el campo de la energía solar térmica para producir calor para Agua Caliente Sanitaria (ACS) y/o calefacción. El concepto básico de esta tecnología consiste en exponer un absorbedor a la radiación solar para calentar un fluido que circula por diferentes conductos internos. Por lo general, también se utiliza una cubierta de vidrio para bloquear la radiación infrarroja saliente, creando el efecto invernadero y reduciendo así las pérdidas térmicas por radiación y convección y aumentando la eficiencia del colector solar (Figura 2). Hoy en día los colectores solares son una tecnología consolidada, donde la investigación se centra en el uso de superficies selectivas [2,3], nanofluidos [2,4] y sistemas de concentración [5] pero la tecnología de enfriamiento radiativo muestra un desarrollo reducido debido a la falta de materiales y soluciones adecuados para reducir las ganancias de calor y la baja densidad energética disponible (entre 20-80 W/m^2 [6]). Los colectores solares térmicos más utilizados en Europa son los colectores solares de placa plana (utilizados principalmente para la producción de ACS). Se han realizado muchas investigaciones para el desarrollo de la refrigeración solar. Este concepto consiste en combinar captadores solares térmicos con una bomba de calor de absorción para producir frío. Las bombas de calor de absorción aprovechan los colectores solares térmicos para sustituir el compresor de una bomba de calor de compresión por una bomba, reduciendo así drásticamente el consumo de energía eléctrica [7]. El principal problema de estos sistemas es su baja eficiencia, las altas potencias y la altas temperaturas (> 100ºC) necesarias para aumentar su eficiencia.

Introduction and state of the art

The world energy demand is expected to increase between 2010 and 2040 in around 50% according to the *US Energy Information Administration*. In most countries, the energy production is based in fossil fuels, which are responsible of the climate change. The building sector is one of the major consumers, with a constant increase in the demand of air conditioning. This sector represents 40% of the total energy consumption in Europe. Thus, the new directives (such as the European Directive 2010/31 on energy performance of buildings [1]) intend to limit the energy consumption and to increase the renewable fraction, with especial emphasis in achieving nearly Zero Energy Buildings (nZEB) proposed by the European Comission.

In this context, the project RAD-CHC focuses on the development and analysis of a new device, the Radiative Collector and Emitter (RCE), capable to collect solar energy to produce heat and also to produce cold by means of night radiative cooling (Figure 1). Thus, the new RCE device combines both heat and cold production for buildings and industrial applications. This device could be combined with solar collectors already installed and/or substitute them in the new installations, since it will have the same functionality to produce hot water with the advantage of producing also cold water. The RCE will be able to produce in a renewable way Domestic Hot Water (DHW) and cold (to support the cooling system), reducing the non-renewable energy consumption during the whole year, as well as the maximum installed power of the conventional production systems.

Much research has been done in the field of solar thermal energy to produce heat for Domestic Hot Water (DHW) and/or heating. The basic concept of this technology consists in exposing an absorber to solar radiation to heat up a fluid circulating through different internal pipes. Usually a glass cover is also used to block the outgoing infrared radiation, creating the greenhouse effect and thus reducing the thermal losses by radiation and convection and increasing the efficiency of the solar collector (Figure 2).

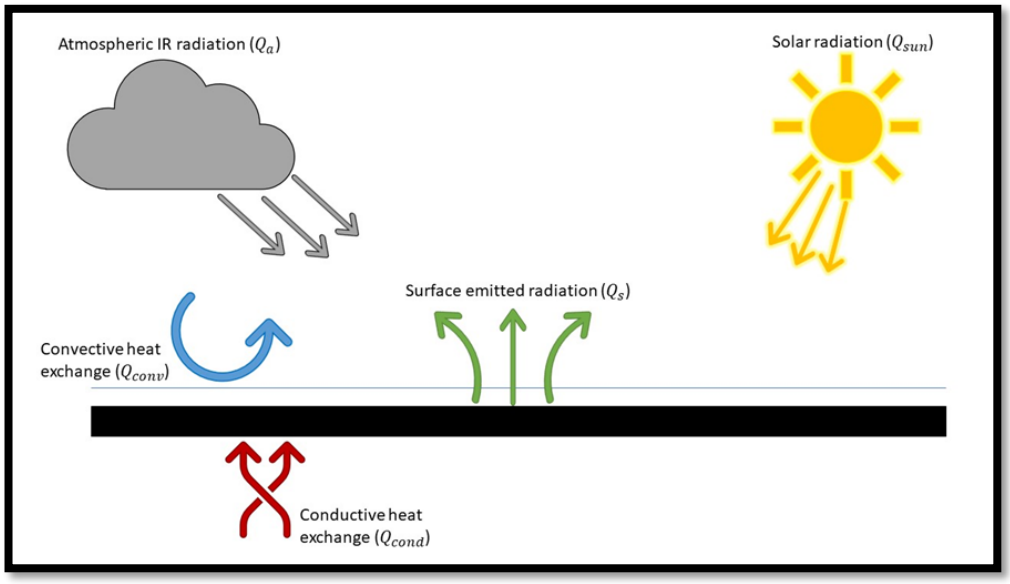


Figure 2. Thermal exchanges between the radiative surface and its surroundings

Nowadays solar collectors are a well stablished technology, where research focuses on the use of selective surfaces [2,3], nano-fluids [2,4] and concentration systems [5] but the radiative cooling technology shows a reduced development due to the lack of suitable materials and solutions in order to reduce the heat gains and the low energy density available (between 20-80 W/m^2 [6]). The most used solar thermal collectors in Europe are the flat plate solar collectors (mostly used for DHW production).

Lots of research has been done for the development of solar cooling. This concept consists in combining solar thermal collectors with an absorption heat pump to produce cold. Absorption heat pumps take advantage of the solar thermal collectors to substitute the compressor of a compression heat pump for a pump, thus dramatically reducing the electrical energy consumption [7]. The main problem of such systems is their low efficiency, the needed high powers and high temperatures (>100ºC) to increase their efficiency. Moreover, auxiliary equipment is required, such as the absorption chiller and the cooling tower, which increases the cost of the installation and can result in health problems such as legionella.

Además, se requieren equipos auxiliares, como el enfriador de absorción y la torre de enfriamiento, lo que aumenta el coste de la instalación y puede resultar en problemas de salud como legionela.

Otra tecnología capaz de producir frío de forma renovable es el enfriamiento radiativo nocturno. Este concepto fue estudiado durante los años 70 y consiste en aprovechar la baja temperatura "efectiva" del cielo durante la noche para disipar el calor por radiación, produciendo así frío. Esta temperatura "efectiva" está influenciada por el comportamiento de la atmósfera conocido como "ventana infrarroja", que permite el paso de la radiación a una determinada longitud de onda (7-14 μm). La disipación de calor se produce por radiación de onda larga (radiación térmica) desde una superficie hacia el cielo. La temperatura del cielo durante la noche puede ser inferior a 0ºC o incluso -10ºC [8], lo que permite temperaturas adecuadas para el enfriamiento. Sin embargo, este fenómeno es a priori solo válido durante la noche, ya que durante el día la radiación solar (radiación de onda corta) es mayor y el balance de radiación da como resultado ganancias térmicas (calentamiento). Para producir frío se une una superficie radiativa de alta emisividad a diferentes tuberías por donde circula un fluido. La superficie radiativa emite energía como radiación térmica al cielo, enfriando el fluido mediante el uso de un material de cobertura transparente a la radiación térmica.

Se han realizado pocas investigaciones sobre la combinación de la captación solar y el enfriamiento radiativo en un solo dispositivo como Erell y Etzion en 1996 y 2000, pero las cubiertas convencionales no son adecuadas para el enfriamiento radiativo [9, 10]. En este proyecto, se desarrolla e implementa, en el nuevo dispositivo RCE, una cubierta adaptativa adecuada, capaz de adaptar sus propiedades ópticas para permitir el paso de la radiación térmica (para enfriamiento radiativo) o bloquear la radiación térmica (para captación solar). Más recientemente, se han logrado avances significativos en el campo de los materiales capaces de producir enfriamiento radiativo durante la noche y el día. En 2013 en la Universidad de Stanford, Rephaeli et al. fueron los primeros en desarrollar dicho material [11,12]. En 2015, Hu et al. [13] desarrollaron una superficie de selectividad espectral adecuada tanto para la captación solar como para el enfriamiento radiativo. La nueva superficie, el TPET, presenta alta absortividad/emisividad tanto en la radiación solar como en las bandas de ventana atmosférica. Sin embargo, Hu et al. no consideró las propiedades radiativas de la cubierta del colector solar/enfriador radiativo, utilizando polietileno como cubierta, lo que reducirá la eficiencia durante el modo de recolección solar debido a la alta emisividad en la longitud de onda del infrarrojo cercano [14]. Como se mencionó, esta limitación se resolverá en este proyecto mediante el uso de una cubierta adaptativa. También son destacables los nuevos materiales para el enfriamiento radiante durante el día (no permiten la captación solar), así como los nuevos estudios para caracterizar el potencial de enfriamiento radiante en China y en EE.UU. [15, 16].

Objetivos del proyecto

El principal objetivo del proyecto RAD-CHC es desarrollar un nuevo dispositivo, el Colector y Emisor Radiativo (RCE), capaz de producir calor por captación solar y frío por enfriamiento radiativo. El proyecto demuestra el concepto, el potencial de producción de frío y calor y su viabilidad para ser implementado en aplicaciones industriales y de construcción. La principal innovación del proyecto es el desarrollo y demostración del nuevo RCE. Otra innovación es el desarrollo de una cubierta adaptativa para permitir ambas funcionalidades. No hay ningún trabajo que demuestre el concepto RCE con el uso de una cubierta adaptativa. Un estudio preliminar sobre el impacto potencial de dicha tecnología demostró que, asumiendo una penetración del 20% en el sector residencial en España, el potencial teórico de ahorro energético sería de más de 5,6 TWh, mientras que una penetración del 20% en oficinas y edificios comerciales en Barcelona supondría una reducción de casi 800 toneladas/año de emisiones de CO_2. Estos datos demuestran el interés de dicha tecnología y la necesidad de desarrollar un prototipo. Además, los miembros del presente proyecto publicaron un artículo en el que se evaluó el potencial de dicha tecnología en diferentes climas y tipologías de edificios del mundo [15]. Para las tipologías de edificios unifamiliares, multifamiliares y hoteleros, se logra una cobertura mínima del 25% de refrigeración y 75% de ACS en cinco de las ciudades estudiadas (San Francisco, Ciudad del Cabo, Johannesburgo, Londres y Ottawa), representando cuatro zonas climáticas (Csb, Cwb, Cfb, Dfb). El principal desafío a abordar es el material de la cubierta del dispositivo. Se está desarrollando una cubierta adaptativa capaz de gestionar radiaciones de diferentes longitudes de onda en función de la función a realizar. Una cubierta adaptativa de este tipo requiere ser transparente a la radiación solar y opaca a la radiación térmica durante el día para mejorar la captación solar, mientras que es transparente a la radiación térmica (en la longitud de onda 7-14 μm) durante la noche para permitir enfriamiento radiativo.

Another technology capable to produce cold in a renewable way is the night radiative cooling. This concept was studied during the 70s, and consists in taking advantage of the low "effective" temperature of the sky during the night to dissipate heat by radiation, thus producing cold. This "effective" temperature is influenced by the behaviour of the atmosphere known as "infrared window", which allows the pass of radiation at a certain wavelength (7-14 μm). Heat dissipation is produced by longwave radiation (thermal radiation) from a surface to the sky. The sky temperature during the night can be lower than 0ºC or even -10ºC [8], allowing temperatures suitable for cooling. However, this phenomenon is a priori only valid during the night, since during the day solar radiation (shortwave radiation) is higher and the radiation balance results in thermal gains (heating). To produce cold a high emissivity radiative surface is attached to different pipes where a fluid is circulated. The radiative surface emits energy as thermal radiation to the sky, cooling down the fluid by using a cover material transparent to thermal radiation.

Little research has been done in the combination of both solar collection and radiative cooling in a single device as Erell and Etzion in 1996 and 2000, but conventional covers are not suitable for radiative cooling [9, 10]. In this project, a suitable adaptive cover, capable to adapt its optical properties to allow either thermal radiation to pass through (for radiative cooling) or block thermal radiation (for solar collection) is developed and implemented in the new RCE device. More recently, significant developments have been achieved in the field of materials capable to produce radiative cooling during both night and daytime. In 2013 at Stanford University, Rephaeli et al. were the first ones to develop such a material [11,12]. In 2015, Hu et al. [13] developed a spectral selectivity surface suitable for both solar collection and radiative cooling. The new surface, the TPET presents high absorptivity/emissivity in both the solar radiation and atmospheric window bands. However, Hu et al. did not consider the radiative properties of the cover of the solar collector/radiative cooler, using polyethylene as cover, which will reduce the efficiency during solar collection mode due to the high emissivity in the near-infrared wavelength [14]. As mentioned, this limitation will be solved in this project by the use of an adaptive cover. Also noteworthy are the new materials for radiant cooling during daytime (they do not allow solar collection), as well as new studies to characterize the potential for radiant cooling in China and in the US [15, 16].

Objectives of the project

The main objective of the RAD-CHC project is the development of a new device, the Radiative Collector and Emitter (RCE), capable to produce heat by solar collection and cold by radiative cooling. The project demonstrates the concept, the potential for cold and heat production and its viability to be implemented in building and industrial applications. The main innovation of the project is the development and demonstration of the new RCE. Another innovation is the development of an adaptive cover to allow both functionalities. There is no work that demonstrates the RCE concept with the use of an adaptive cover. A preliminary study on the potential impact of such technology demonstrated that, assuming a penetration of 20% in the residential sector in Spain, the theoretical potential for energy saving would be more than 5.6 TWh, while a penetration of 20% in offices and commercial buildings in Barcelona would result in a reduction of almost 800 tons/year of CO_2 emissions. These data demonstrate the interest of such technology, and the need to develop a prototype. Moreover, members of the present project published a paper where the potential of such technology in different world climates and building typologies was evaluated [15]. For the Single-Family, Multi-Family, and Hotel building typologies, a minimum coverage of 25% of cooling and 75% of DHW is achieved in five of the studied cities (San Francisco, Cape Town, Johannesburg, London, and Ottawa), representing four climate zones (Csb, Cwb, Cfb, Dfb).

The main challenge to address is the cover material of the device. An adaptive cover capable to manage different wavelength radiation depending on the function to be performed is being developed. Such an adaptive cover requires to be transparent to solar radiation and opaque to thermal radiation during day-time in order to enhance solar collection, while being transparent to thermal radiation (in the wavelength 7-14 μm) during night-time in order to enable radiative cooling.

Desarrollo y resultados del proyecto

En base al análisis del estado del arte de los materiales y de las tecnologías de cubierta adaptativa, se deduce la necesidad de utilizar una cubierta en la tecnología RCE para lograr temperaturas sub-ambiente. Se han identificado dos tipologías de cubiertas: las cubiertas adaptativas móviles y las cubiertas adaptativas de materiales inteligentes. También se han identificado los materiales disponibles para cubiertas adaptativas con doble función captación solar/refrigeración radiante. En el primer grupo destaca el polietileno, con la degradación como principal problema. El segundo grupo tiene gran potencial, pero no hay experiencias de su uso en refrigeración radiante. Además, se ha abordado el problema del envejecimiento de materiales de cubierta y la caracterización de la transmitancia en el espectro infrarrojo del primer grupo de materiales. Se han seleccionado tres materiales plásticos (metacrilato, policarbonato y polietileno de baja densidad) y se ha analizado su transmitancia en los espectros visible e IR para determinar su idoneidad como cubierta del RCE. Se ha estudiado el efecto del grosor del material con muestras de polietileno de 17 μm, 50 μm y 200 μm. Se ha seleccionado el polietileno de baja densidad de 50 μm para la cubierta del RCE (Figura 3) por tener la transmitancia más alta (80,69 % de 7-14 μm).

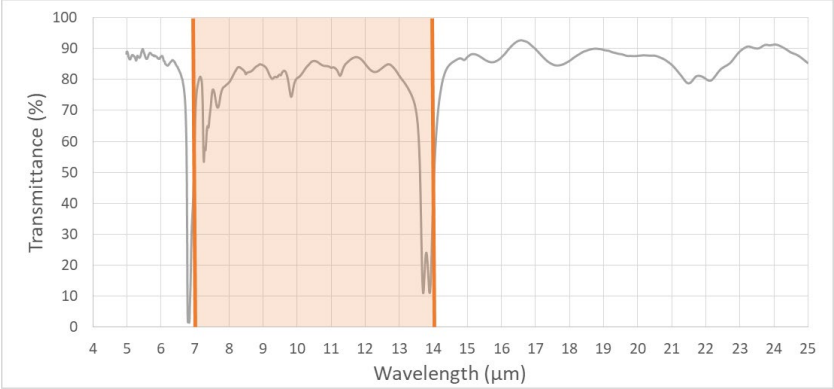


Figura 3. Espectro FT-IR en modo Transmisión para polietileno de 50 μm. La ventana atmosférica está sombreada.
μm polyethylene. The atmospheric window is shadowed.

Además, se ha realizado una campaña experimental específica, destinada al estudio de la degradación del polietileno de baja densidad de 50 μm. El material ha sido montado en el equipo experimental y expuesto a condiciones ambientales durante dos meses en el verano de 2019. Se ha realizado un análisis de transmitancia en UV-vis y FT-IR para comparar la transmitancia del polietileno antes y después de la exposición. Los resultados muestran que la estructura química del polietileno cambia por el hecho de estar expuesto en el RCE, apareciendo nuevos grupos funcionales que indican procesos de oxidación (dobles enlaces y grupos carbonilo). No obstante, aunque la transmitancia sólo disminuye un 0,3-0,8% se ha observado que este comportamiento implica una disminución de la potencia de refrigeración obtenida en radiative cooling. Finalmente se ha diseñado un prototipo de cubierta adaptativa, compuesto por el vidrio del colector solar (captación solar durante el día) y polietileno de 50 μm (enfriamiento radiativo durante la noche). Los resultados del periodo de seguimiento en Lleida en el verano de 2019 demuestran el potencial del concepto RCE para producir agua caliente durante el día y agua fría por debajo de la temperatura ambiente durante la noche con un solo equipo (Figura 4). Para los días despejados la potencia calorífica media del RCE encontrada es de 573,69 W/m^2, con su máximo alrededor del mediodía con un valor de 865,27 W/m^2, y la temperatura de salida de unos 17 ºC por encima de la temperatura ambiente. Para noches despejadas, la potencia máxima de refrigeración RCE calculada es de -36,60 W/m^2, y la potencia media obtenida es de -15,57 W/m^2. En estos experimentos se alcanzan además temperaturas del agua sub-ambiente de hasta -3 ºC.

Se ha desarrollado un modelo numérico específico para el RCE en código C ++ [18] y con el software “Comsol Multiphysics y se ha implementado en sistemas más complejos mediante el uso de otro software que puede simular sistemas de energía integrados, como “Trnsys” o “EnergyPlus”. Con estas simulaciones se identifican los parámetros clave y se desarrollan correlaciones para tener a disposición modelos numéricos más simples y confiables. El estudio de sensibilidad del modelo numérico ha identificado 5 parámetros (conductividad térmica de la cámara de aire, absortividad/emisividad del radiador en el rango 7-14 μm, transmisividad del material de cubierta para refrigeración radiante en el rango 7-14 μm, temperatura de entrada del agua y caudal de agua), y 4 combinaciones de estos como los más importantes para maximizar la producción de frío. A partir de estos parámetros clave se generada un metamodelo del RCE. Es importante destacar la necesidad de caracterizar el potencial del recurso disponible para refrigeración radiante en función de la zona geográfica. Se ha realizado un mapa continuo

del potencial de refrigeración radiante para España mediante los métodos de interpolación Inversed Distance Weighted (IDW) y Kriging, determinando un potencial medio de 55-60 W/m^2 (Figura 5).

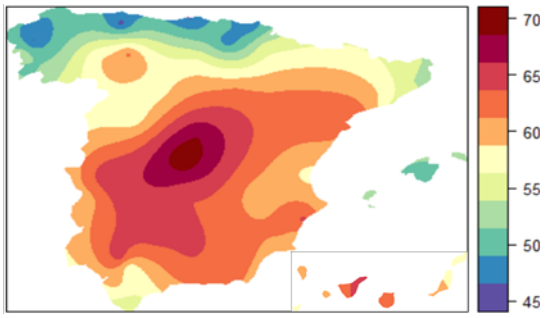


Figura 5. Mapa de la distribución media anual del potencial de refrigeración radiante nocturno en España [W/m^2]
Figure 5. Map of distribution of annual average night-time radiative cooling potential [W/m^2]

Mediante el uso de diferentes escenarios del IPCC se determina que el impacto que supondría el cambio climático en este potencial es bajo, demostrando que la tecnología del RCE tiene recorrido a largo plazo. Actualmente se está ampliando el estudio para toda Europa. Mediante el modelo numérico del RCE y el desarrollo de un modelo de control se han estudiado distintas mejoras del sistema RCE para conseguir temperaturas para refrigeración. Se ha estudiado el uso de un intercambiador aire-agua para hacer un pre-enfriado convectivo durante las primeras horas de la noche, y la combinación de una bomba de calor con el RCE para aportar un foco más frío que el aire ambiente al condensador. Los resultados demuestran un incremento del COP de la bomba de calor de 2,5-3,5 (funcionando sola) a 3,5-5 (combinada con el RCE) (Figura 6). Cuando se analiza el COP de todo el sistema (considerando los consumos de las bombas de circulación) se consigue una mejora menor. Se requiere pues un sistema de control avanzado para optimizar el uso de las bombas y el COP del sistema.

Project development and results

Based on the analysis of the state of the art of materials and adaptive cover technologies, the use of a cover in RCE technology to achieve sub-ambient temperatures is needed. Two types of covers have been identified: exchangeable adaptive covers and smart material adaptive covers, made of a material capable of switching its optical properties depending on the working mode. The materials available for exchangeable adaptive covers with dual function solar capture/radiant cooling have also been identified. In the first group, polyethylene stands out, with degradation as the main problem. The second group has great potential, but there are no experiences of its use in radiant cooling. In addition, the problem of aging of cover materials and the characterization of the transmittance in the infrared spectrum of the first group of materials has been addressed.

Three plastic materials (methacrylate, polycarbonate and low-density polyethylene) have been selected and their transmittance in the visible and IR spectra has been analysed to determine their suitability as a covering for RCE. The effect of the thickness of the material has been studied with polyethylene samples of 17 µm, 50 µm and 200 µm. Low density polyethylene of 50 µm has been selected for the RCE cover (Figure 3) because it has the highest transmittance (80.69% of 7-14 µm).

In addition, a specific experimental campaign has been carried out, ending with the study of the degradation of low density polyethylene of 50 µm. The material has been mounted on the experimental equipment and exposed to environmental conditions for two months in summer 2019. A transmittance analysis has been carried out in UV-vis and FT-IR spectrum in order to compare the transmittance of polyethylene before and after exposure. The results show that the chemical structure of polyethylene changes due to the fact of being exposed in the RCE, appearing new functional groups that indicate oxidation and degradation processes (double bonds and carbonyl groups). However, the transmittance only decreases by 0.3-0.8%, which may explain the slight decrease in cooling powers observed along the testing weeks.

A prototype of the adaptive cover was finally designed, made up of the solar collector glass (solar collection during the day) and 50 µm polyethylene (radiative cooling during the night). The results from the monitoring period in Lleida in the summer of 2019 demonstrate the potential of the Radiative Cooler and Emitter concept to produce hot water during daytime and cool water below room temperature during night time with a single equipment (Figure 4). For clear days the average RCE heating power calculated is 573.69 W/m^2, having its maximum around midday with a value of 865.27 W/m^2, and the outlet temperature is about 17 ºC above ambient temperature. For clear nights, the maximum RCE

cooling power found is -36.60 W/m^2, and the average power obtained is -15.57 W/m^2. Furthermore, sub-ambient water temperatures up to -3 ºC are achieved.

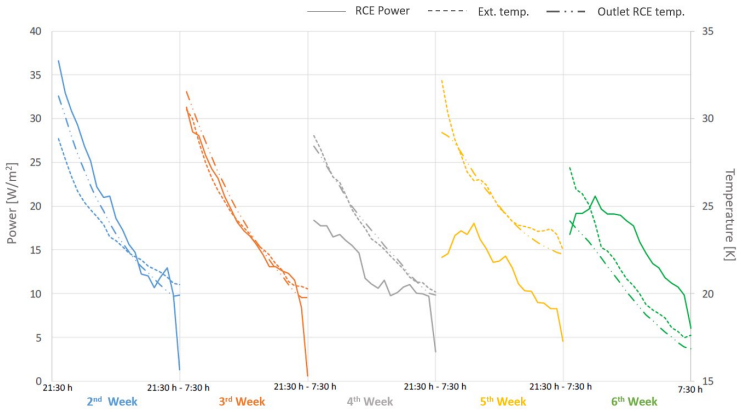


Figura 4. Potencias de refrigeración medias en noches claras en las semanas de experimentación
Figure 4. Average clear night cooling powers corresponding to the experimental weeks

A specific numerical model for the RCE was developed in C++ code and with the software "Comsol Multiphysics [18] and implemented in more complex systems by the use of other software that can simulate integrated energy systems, such as "Trnsys" or "EnergyPlus". On the other hand, Comsol was used for detailed numerical simulations of the heat transfer and fluid dynamics phenomena produced in the adaptive cover and RCE device studied in this project. With these simulations, the key parameters were identified and correlations were developed to have at disposal simpler and reliable numerical models. The sensitivity study of the numerical model has identified 5 parameters (thermal conductivity of the air gap, absorptivity/emissivity of the radiator in the range 7-14 µm, transmissivity of the covering material for radiant cooling in the range 7-14 µm, temperature of water inlet and water flow), and 4 combinations of these as the most important to maximize cold production. A metamodel of the RCE is generated from these key parameters.

It is important to highlight the need to characterize the potential of the available resource for radiant cooling depending on the geographical area. A continuous map of the radiant cooling potential has been made for Spain using the Inversed Distance Weighted (IDW) and Kriging interpolation methods, determining an average potential of 55-60 W/m^2 (Figure 5). Through the use of different IPCC scenarios, it has been determined that the impact that climate change would have on this potential is low, showing that the RCE technology has a long-term trajectory.

Through the numerical model of the RCE and the development of a control model, different improvements of the RCE system have been studied to achieve temperatures for refrigeration. The use of an air-water exchanger to perform a convective pre-cooling during the first hours of the night, and the combination of a heat pump with the RCE to provide a cooler than ambient air focus to the condenser has been studied. The results show an increase in the COP of the heat pump from 2.5-3.5 (running alone) to 3.5-5 (combined with the RCE). When the COP of the entire system is analysed (considering the consumptions of the circulation pumps), a minor improvement is achieved (Figure 6). An advanced control system is therefore required to optimize the use of the pumps and the COP of the system.

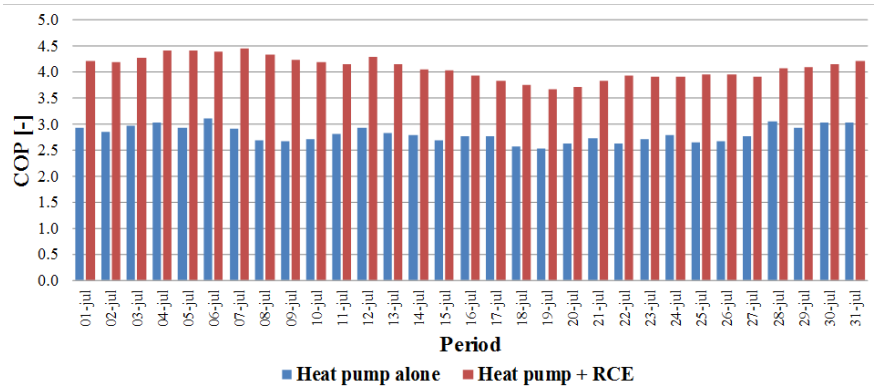


Figura 6. Comparación entre COP de la bomba de calor con o sin RCE en el mes de Julio 2020
Figure 6. Comparison of the COP of the heat pump with or without RCE for the month of July 2020

Conclusiones

Se ha desarrollado un nuevo dispositivo, el Colector y Emisor Radiativo (RCE), capaz de captar energía solar para producir calor y también producir frío mediante enfriamiento radiativo nocturno. Aspectos técnicos, tecnológicos y de ciencias de los materiales han sido considerados en este nuevo dispositivo. Se ha identificado una relación entre la potencia de enfriamiento nocturno y la degradación del material plástico en la cubierta adaptativa.

Se han realizado campañas experimentales con el fin de demostrar el concepto, caracterizar el funcionamiento del prototipo RCE, y su capacidad para producir frío y calor, logrando temperaturas inferiores a la ambiente, y determinar eficiencias y potencias. Los datos experimentales obtenidos finalmente se han utilizado para la validación de modelos numéricos del RCE.

Este RCE produce de forma renovable Agua Caliente Sanitaria (ACS) y fría (para apoyar el sistema de refrigeración), reduciendo el consumo de energía no renovable durante todo el año, así como la potencia máxima instalada de la producción convencional. Los resultados experimentales con un primer prototipo de RCE muestran potencias medias de 573,7 W/m^2 para captación solar y 15,6 W/m^2 para refrigeración radiativa.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el gobierno de España RTI2018-097669-AI00 (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades) y por la Fundación Iberdrola España con el proyecto "Desarrollo y evaluación de un equipo para producción combinada de frío y calor mediante refrigeración radiante y captación solar". Los autores quieren agradecer la Generalitat de Catalunya por el proyecto (2017 SGR 659) al grupo de investigación. Ariadna Carrobé agradece la Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament d'Empresa i Coneixement de la Generalitat de Catalunya por su beca de investigación.

Conclusions

A new device, the Radiative Collector and Emitter (RCE), capable to collect solar energy to produce heat and also to produce cold by means of night radiative cooling has been developed. Technical, technological and science materials information have been considered in the new device. A relationship between cooling power and degradation of plastic materials in the adaptive cover has been identified.

Experimental campaigns have been carried out in order to demonstrate the concept, to characterize the operation of the RCE prototype, and its ability to produce cold and heat, achieving temperatures below ambient, and to determine efficiencies and powers. The experimental data obtained have finally been used for the validation of numerical models of the RCE.

This RCE produces in a renewable way Domestic Hot Water (DHW) and cold (to support the cooling system), reducing the non-renewable energy consumption during the whole year, as well as the maximum installed power of the conventional production systems. Experimental results with a first RCE prototype show average powers of 573.7 W/m^2 for solar collection and 15.6 W/m^2 for radiative cooling.

Acknowledments

The work was partially funded by the Spanish government under grant agreement RTI2018-097669-AI00 (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades) and by Fundación Iberdrola España under project "Desarrollo y evaluación de un equipo para producción combinada de frío y calor mediante refrigeración radiante y captación solar". The authors would like to thank Generalitat de Catalunya for the project grant given to their research group (2017 SGR 659). Ariadna Carrobé would like to thank the Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament d'Empresa i Coneixement de la Generalitat de Catalunya for its research fellowship.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- [1] European Parliament. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Off J Eur Union 2010;153:13–35.
- [2] Suman S, Khan MK, Pathak M. Performance enhancement of solar collectors—A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 49 (2015) 192–210.
- [3] Valleti K, Krishna DM, Joshi SV. Functional multi-layer nitride coatings for high temperature solar selective applications. Solar Energy Materials and Solar Cells 121 (2014) 14–21.
- [4] Verma SK, Tiwari AK. Progress of nanofluid application in solar collectors: A review. Energy Conversion and Management 100 (2015) 324–346.
- [5] Colangelo G, Favale E, Miglietta P, de Risi A, Milanese M, Laforgia D. Experimental test of an innovative high concentration nanofluid solar collector. Applied Energy 154 (2015) 874–881.
- [6] Cavelius R, Isaksson C, Perednis E, Read GEF. Passive cooling technologies. 2005.
- [7] Kalogirou, SA. Solar Energy Engineering: Processes and Systems: Second Edition. ISBN: 978-012397270-5 (2013).
- [8] Bell E, Eisner L, Young J, Oetjen R. Spectral-Radiance of Sky and Terrain at Wavelengths between 1 and 20 Microns. II. Sky Measurements. J Opt Soc Am 50 (1960) 1313–1317.
- [9] Erell E and Etzion Y. Heating Experiments with a Radiative Cooling System. Building and Environment 31 (6) (1996) 509-517.
- [10] Erell E, Etzion Y. Radiative cooling of buildings with flat-plate solar collectors. Build Environ 35 (2000) 297–305.
- [11] Rephaeli E, Raman A, Fan S. Ultrabroadband Photonic Structures To Achieve High-Performance Daytime Radiative Cooling. Nano Letters 13 (2013) 1457−1461.
- [12] Raman AP, Anoma MA, Zhu L, Rephaeli E, Fan S. Passive radiative cooling below ambient air temperature under direct sunlight. Nature 515 (2014).
- [13] Hu M, Pei G, Li L, Zheng R, Li J, Ji J. Theoretical and Experimental Study of Spectral Selectivity Surface for Both Solar Heating and Radiative Coioling. International Journal of Photoenergy (2015), 807875.
- [14] Hu M, Pei G, Wang Q, Li J, Wang Y, Ji J. Field test and preliminary analysis of a combined diurnal solar heating and nocturnal radiative cooling system. Applied Energy 179 (2016) 899-908.
- [15] Chang, K., Zhang, Q., 2019. Modeling of downward longwave radiation and radiative cooling potential in China. Journal of Renewable and Sustainable Energy 11, 066501.
- [16] Li, M., Peterson, H.B., Coimbra, C.F.M., 2019. Radiative cooling resource maps for the contiguous United States. Journal of Renewable and Sustainable Energy 11, 036501. https://doi.org/10.1063/1.5094510
- [17] Vall S, Castell A, Medrano M. Energy Savings Potential of a Novel Radiative Cooling and Solar Thermal Collection Concept in Buildings for Various World Climates. Energy Technology 6 (2018).
- [18] Vall, S., Johannes, K., David, D., & Castell, A. (2020). A new flat-plate radiative cooling and solar collector numerical model: Evaluation and metamodeling. Energy, 202, 117750

MISURARE L'INQUINAMENTO PER PROTEGGERE LE PERSONE VULNERABILI NELL'AMBIENTE ESTERNO

MONITORING POLLUTION TO PROTECT VULNERABLE PEOPLE IN OUTDOOR ENVIRONMENT

Luca Rampini
Dottorando nel Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente costruito; Politecnico di MIlano; via Ponzio 31, 20133 Milano, Italia. Ingegnere civile. E-mail: luca.rampini@polimi.it
Ph.D. candidate in the Department of Architecture, Built environment and Construction engineering; Politecnico di Milano, Civil Engineer. E-mail: luca.rampini@polimi.it

Ania Khodabakhshian
Dottorando nel Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente costruito; Politecnico di MIlano; via Ponzio 31, 20133 Milano, Italia. Construction Manager, E-mail: ania.khodabakhshian@polimi.it
Ph.D. candidate in the Department of Architecture, Built environment and Construction engineering; Politecnico di Milano, Construction Manager. E-mail: ania.khodabakhshian@polimi.it

Tiziana Poli
Professore Ordinario di Architettura Tecnica nel Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente costruito; Politecnico di Milano; via Ponzio 31, 20133 Milano, Italia. Dottore di Ricerca in Ingegneria Edile, Architetto. E-mail: tiziana.poli@polimi.it
Full Professor in Architectural Engineering in the Department of Architecture, Built environment and Construction engineering; Politecnico di Milano, Ph.D. in building Engineering, Architect. E-mail: tiziana.poli@polimi.it

Fulvio Re Cecconi
Professore Associato di Produzione Edilizia nel Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente costruito; Politecnico di Milano; via Ponzio 31, 20133 Milano, Italia. Dottore di Ricerca in Ingegneria Edile, Ingegnere civile. E-mail: fulvio.rececconi@polimi.it
Associate Professor in Building Production in the Department of Architecture, Built environment and Construction engineering; Politecnico di Milano, Ph.D. in Building Engineering, Civil Engineer. E-mail: fulvio.rececconi@polimi.it

Abstract

Slow Onset Disasters (SLODs), especially air pollution, have a severe negative effect on residents' lives, especially the vulnerable groups. Therefore, constant measurement of air quality factors and Particular Matters (PMs) can help take precautionary actions and mitigate the disease risks. PMs are conventionally measured by stationary monitors, which are not homogeneously distributed. Therefore, this research aims to propose a personal portable PM measuring device installed in multiple urban locations to record real-time data on PM concentration and monitor the air quality measures efficiently. The area near the department of Architecture, Built environment and Construction Engineering of Politecnico di Milano was selected as a case study.

Keywords

Slow Onset Disasters (SLODs), Particular Matters (PM), Portable Device, GPS sensor, Arduino

Introduzione e background

I disastri ad insorgenza lenta (SLODs) sono eventi a bassa intensità, continui e ad alta frequenza e si riferiscono a processi di degrado ambientale come la siccità, la desertificazione, l'aumento della salinizzazione, l'innalzamento del livello del mare o lo scioglimento del permafrost (Grenier, Lynn, e Zurynski 2009; Staupe-Delgado 2020). Le isole di calore, il fenomeno per cui le aree urbane sperimentano temperature dell'aria e della superficie più elevate rispetto ai dintorni rurali (Oke, 1982), e l'inquinamento atmosferico, causato da fattori come la costruzione e il consumo energetico degli edifici, i trasporti, i rifiuti (Rampini e Re Cecconi, 2020) rappresentano i casi più critici di SLODs, soprattutto nelle megalopoli e negli ambienti urbani densi (Farhadi, Faizi e Sanaieian, 2019).

L'inquinamento atmosferico è il rischio ambientale più significativo per la salute nell'Unione Europea (UE), come riportato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, causando circa 400.000 morti premature (Niemenmaa, 2018). Nel 2016, 374.000 e 14.600 morti premature non accidentali sono state attribuite all'inquinamento atmosferico (PM2,5 e O3, rispettivamente) nei paesi dell'UE (Agenzia europea dell'ambiente, 2018). Pertanto, il monitoraggio della PM in tempo reale nelle aree urbane può giovare alla salute pubblica rilevando le aree inquinate e permettendo di organizzare azioni preventive per la salvaguardia della salute delle persone vulnerabili.

I cambiamenti climatici, come gli eventi di acqua fognaria e l'inquinamento atmosferico, hanno conseguenze gravi e a lungo termine per la salute pubblica come colpi di caldo, soffocamento, la BPCO e il cancro ai polmoni (LC), gli ictus, le malattie cardiache ischemiche (IHD) e la salute mentale, e potrebbero portare a migrazioni su larga scala e conflitti civili (Frumkin et al. 2008; Luber e McGeehin 2008; Lelieveld et al. 2015). Inoltre, l'esposizione al calore aumenta il rischio di malattie respiratorie (Michelozzi et al., 2005), ospedalizzazione e morte (Basu, 2009).

La percentuale di emissioni misura il livello di inquinamento dell'aria (ad esempio, ossidi di zolfo, ossidi di azoto, composti organici volatili non metanici) (Sicard et al., 2021), il particolato (PM) e il livello di O3. Le particelle hanno dimensioni variabili da circa 2 nm a più di 100 μm e sono geenralmente classificate in quattro categorie. Gli impatti sulla salute sono legati sia alle dimensioni che alla composizione (Russell e Brunekreef, 2009). Gli studi precedenti sono stati condotti sulle misurazioni della qualità dell'aria, concentrandosi principalmente sull'inquinamento urbano e sul rischio associato di mortalità/morbilità (Gurjar et al. 2010; Russell e Brunekreef 2009). Modelli regionali e globali a maggiore risoluzione, modelli di chimica atmosferica e circolazione generale, e dati satellitari sono applicati per migliorare le stime delle concentrazioni di PM e O3 e il loro impatto sulla qualità dell'aria (Lelieveld et al., 2015).

L'analisi dei dati meteorologici regionali e del particolato (PM) è spesso utilizzata per stimare la qualità dell'aria e il tasso di mortalità, richiedendo una grande quantità di dati giornalieri in aree urbane (Organizzazione Mondiale della Sanità, 2014). Studi sulla PM sono stati condotti a Philadelphia e Toronto utilizzando la modellazione sinottica del clima basata su parametri regionali e temporali (Kalkstein et al. 1996; Cheng et al. 2008). L'Organizzazione Mondiale della Sanità nel 2016 ha documentato il potenziale effetto dell'inquinamento dell'aria sul decadimento delle condizioni di salute e l'aumento della mortalità (Organizzazione Mondiale della Sanità, 2016). Inoltre, Merakli e Kucukyavuz (2020) hanno fornito un quadro matematico basato sui processi decisionali di Markov (MDP) per ridurre al minimo il rischio in un problema di gestione delle operazioni di soccorso umanitario durante gli SLODs (Meraklı e Küçükyavuz, 2020). Infine, Cadena, et al. (2021) hanno condotto un'analisi del rischio su mesoscala all'aperto basata su più rischi per studiare gli effetti aggregati degli SLOD a Milano (Cadena et al., 2021).

Questa ricerca propone un dispositivo portatile personale che può misurare in tempo reale i dati del PM. Questo approccio adotta un processo di misurazione simile a quello che i monitor stazionari fanno convenzionalmente, e aiuterebbe a prendere azioni precauzionali per le persone vulnerabili, come gli anziani e i bambini. Questo nuovo approccio cerca di risolvere la limitazione della distribuzione poco diffusa delle stazioni sopramenzionate.

Introduction and background

Slow Onset Disasters (SLODs) relate to environmental degradation processes such as droughts and desertification, increased salinization, rising sea levels or thawing of permafrost, which are low intensity, continuous, and high frequency events (Grenier, Lynn, and Zurynski 2009; Staupe-Delgado 2020). Urban Heath Island, the phenomenon in which urban areas experience higher air and surface temperatures compared to rural surroundings (Oke, 1982), and air pollution, caused by factors such as construction, building operations, transportation, waste (Rampini and Re Cecconi, 2020) are of the most critical crisis of SLODs, especially in megacities and dense urban environments (Farhadi, Faizi and Sanaieian, 2019).

Air pollution is the most significant environmental risk to health in the European Union (EU), as reported by World Health Organization, causing about 400 000 premature deaths (Niemenmaa, 2018). In 2016, 374,000 and 14,600 non-accidental premature deaths were attributed to air pollution (PM2.5 and O3, respectively) in the EU-28 countries (European Environment Agency, 2018). Therefore, real-time PM monitoring in urban areas can benefit public health in detecting polluted áreas treathening vulnerable people's health and organizing preventative actions.

Climate change, such as sever weather events and air pollution, has serious and long-term consequences for public health like Heat Stress, Drowning, Vector-borne disease, COPD and lung cancer (LC), strokes, ischaemic heart disease (IHD), and mental health, and could event lead to large-scale migration and civil conflict (Frumkin et al. 2008; Luber and McGeehin 2008; Lelieveld et al. 2015). Moreover, exposure to heat increases the risk of respiratory illness (Michelozzi *et al.*, 2005), hospitalization and death (Basu, 2009).

Air pollution level is measured by the persentage of emissions (e.g., sulfur oxides, nitrogen oxides, non-methane volatile organic compounds) (Sicard *et al.*, 2021), particulate matters (PM), and O3 level. Particles come in sizes ranging over four orders of magnitude from about 2 nm to larger than 100 μm, and health impacts are tied to both size and composition (Russell and Brunekreef, 2009). Previous studies were conducted on air quality measurements, mainly focusing on urban pollution and its associated Risk of Mortality/Morbidity (Gurjar et al. 2010; Russell and Brunekreef 2009). Enhanced resolution regional and global models, atmospheric chemistry–general circulation models, and satellite data are applied to improve PM and O3 concentrations' estimates and their impact on air quality (Lelieveld *et al.*, 2015).

Analysis of regional weather data and Particulate Matter (PM) is used and referred for estimating air quality and mortality rate, requiring a large amount of daily data from dense urban áreas (World Health Organization, 2014). Similar studies in Philadelphia and Toronto have been conducted using synoptic climate modeling based on Regional and temporal parameters (Kalkstein et al. 1996; Cheng et al. 2008). World Health Organization in 2016 reported on the air pollutants' concentration and predicted their potential effect on the decay of health condition and the increase in mortality (World Health Organization, 2016). Moreover, Merakli and Kucukyavuz (2020) provided a mathematical framework based on Markov Decision Processes (MDPs) to minimize the risk in an inventory management problem for humanitarian relief operations during a slow-onset disaster (Meraklı and Küçükyavuz, 2020). Cadena, et al. (2021) conducted an outdoor meso-scale multi-hazard-based risk analysis to study the aggregated effects of the SLODs in Milan (Cadena *et al.*, 2021).

This research proposed a personal portable device that can measure real-time PM data. This approach exhilarates the measurement process, which stationary monitors conventionally do, and would help take precautionary actions for vulnerable people, such as elderly and children. This novel approach will solve the time-consumption and sparse distribution limitation of conventional methods.

Metodi e strumenti

Lo scopo di questo studio è di proteggere le persone vulnerabili dai rischi derivanti dall'esposizione agli agenti inquinanti presenti nell'aria delle zone urbane. Pertanto, si è reso necessario introdurre un metodo che permettesse di misurare localmente la quantità di agenti inquinanti. La metodologia adottata per questo studio è divisa in tre parti principali: i) introduzione di un portatile ed economico sensore capace di misurare la concentrazione di PM in differenti luoghi, ii) la raccolta di dati sulla qualità dell'aria condotta nell'area vicina al dipartimento di Architettura, Gestione dell'Ambiente Costruito e Ingegneria delle Costruzioni del Politecnico di Milano, iii) elaborazione, visualizzazione, e discussione dei risultati ottenuti utilizzando lo strumento portatile.

Tale strumento è composto da quattro parti principali: la scheda princiaple, ovvero una Sparkfun RedBoard Turbo, e altre tre componenti. La PM è stata misurata usando il sensore SPS30 della Sensirion AG collegato alla scheda arduino e installato su di una scatola realizzata tramite stampante 3D che ha permesso di migliorare la portabilità e la sicurezza dei componenti (Figura 1). Le misurazioni del sensore si basano sulla diffusione laser e utilizzano una tecnologia innovativa di mitigazione dell'errore per consentire misurazioni di alta precisione. Il sensore può misurare la concentrazione in massa di particelle in un range da 0 a 1000 μg/m3 (nella Tabella 1 sono riportate brevemente le specifiche del sensore). La scheda Arduino registra valori di PM ogni 30 secondi. La posizione è riportata dall'antenna ADH-tech GP-735, la quale risulta essere una snella e performante antenna GPS con una precisione orizzontale di 2.5 metri. Il sensore GPS è stato montato su di uno Sparkfun Weather Shield direttamente collegato alla scheda principale. Inoltre, per codificare il flusso di dati NMEA inviati dall'antenna GPS la libreria è stata utilizzata TinyGPS++. Infine, le misurazioni sono state raccolte in una scheda SD connessa alla scheda principale tramite lo SparkFun microSD shield.

Il percorso utilizzato per la raccolta dati coprende scenari urbani differenti allo scopo di comprendere quali parametri possano influenzare la quantità di PM presente nell'atmosfera, in modo eventualmente di migliorarne le predizioni sull'andamento. Pertanto, all'interno del percorso ci sono strade principali molto trafficate, strade secondarie poco trafficate, e alcuni tratti all'interno di parchi. Inoltre, i dati sono stati raccolti in due orari diversi, ovvero alle 9 am e alle 11 am. Le concentrazioni di PM infatti, non diepndono soltanto dalla posizione geografica ma anche dalle attività che venfono svolte in un'area durante uno specifico orario. Per esempio, il traffico delle 9 am potrebbe essere maggiore considerando che molte persone si recano al lavoro intorno a quell'ora, mentre, per quanto riguarda i parchi, la concentrazione di persone dipende fortemente dalle pause concesse all'interno delle lezioni univeristarie (essendo il parco frequentato principalmente da studenti). Pertanto, comprendere come cambia la concentrazione di PM durante la giornata aiuterebbe a capire i limiti entro cui i valori possono variare e, conseguentemente, intraprendere azioni per mitigare i rischi derivanti dalle concentrazioni di PM maggiori nelle ora di punta.

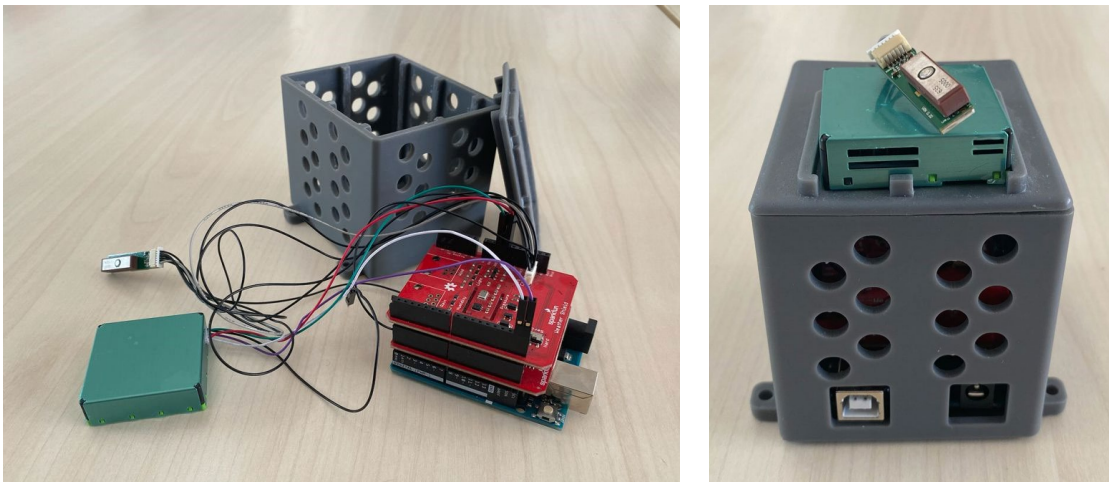


Figura 1. Il sensore di particolato costruito su piastra Arduino Uno

Methods and tools

This study aims to protect vulnerable people from the hazards imposed by air pollution in urban areas. Therefore, it was essential to introduce a research approach that permitted the measurement of pollutants locally. The methodology adopted in this study is divided into three main steps: i) the introduction of a portable, low-cost sensor able to measure PM concentrations in different locations; ii) the collection of data about air quality conducted in the area near the department of Architecture, Built environment and Construction Engineering of Politecnico di Milano; iii) elaboration, visualization, and discussion of the results obtained with the portable device.

The adopted device comprised four main parts: the main board, i.e., the Sparkfun RedBoard Turbo, and three other components. PM was measured using the SPS30 sensor from Sensirion AG connected to an Arduino board and installed in a custom-made 3D printed box (Figure 1). Its measurement principle is based on laser scattering and uses innovative contamination- resistance technology to enable high precision measurements. The PM sensor has been equipped with a customized 3D printed case to protect the assembly and make it easily transportable across the city. The sensor can measure mass concentration in a range from 0 to 1,000 μg/m3, and its main specifications are briefly summarized in Table 1. The Arduino board collects PM values every 30 seconds. The location is provided by ADH-tech GP-735, a slim, ultra-high performance GPS smart antenna with a 2.5 meters horizontal precision. The GPS sensor was mounted on a Sparkfun Weather Shield directly pinned to the main board. Moreover, the source code used the TinyGPS++ library to parse the NMEA data streams provided by the GPS module. Finally, the data collected were stored in an SD card, connected to the main board by the SparkFun microSD shield. All the components were placed in a tailored 3D printed box, which helped increase the device's portability.

The route selected for data collection included different urban and environmental scenarios to understand what parameters may influence any changes in the measurement of PM parameters. Indeed, the considered path involved principal streets with high cars and pedestrians, secondary streets with meager traffic, and some stretches inside parks. This variance in situations might help understand what proxy data may influence PM trends in cities, making predictions easier. Moreover, the data were collected at two different time frames, i.e., 9 am and 11 am. Indeed, the scenario where the measures are taken depends strongly not only on the geographical position but also on time. Indeed, areas can register a different PM concentration by looking at the activities performed during the day. For instance, the traffic observed at 9 am might be more extensive since more people get to work at that time than 11 am; whereas, inside the park, the concentration of people, especially students, may depend more on breaks or recreational activities. Consequently, understand the behavior of PM concentration during the day might help both defining the range of variability and handling solutions to mitigate the most significant concentration in rush hours.

Tabella 1. Riassunto delle specifiche del sensore Sensirion SPS30
Table 1. Overview of the Sensirion SPS30 specifications.

Parameter	Conditions	Values	Units
Mass concentration size range	PM1.0	0.1 to 1.0	μm
	PM2.5	0.3 to 2.5	μm
	PM4	0.3 to 4.0	μm
	PM10	0.3 to 10.0	μm
Mass concentration precision	0 to 100 μg/m^3	±10	μg/m^3
for PM1 and PM2.5	100 to 1000 μg/m^3	±10	% m.v.
Mass concentration precision	0 to 100 μg/m^3	±25	μg/m^3
For PM4 and PM10	100 to 1000 μg/m^3	±25	% m.v.

Risultati

Gli istogrammi in Figura 2 rappresentano la distribuzione dei dati raccolti per questa ricerca. Tale distribuzione è simile per ciascuna delle dimensioni considerate, specialmente per quelle maggiori, ovvero da 2.5 a 10 μm. Pertanto, considerando le soglie di misurazione del sensore riportate in Tabella 1, ciò significa che la maggior parte della PM ha dimensione da 0.1 a 2.5 μm. Inoltre, tutte le distrbuzioni sono principalmente nella parte sinistra o destra del grafico. Questo significa che le concentrazioni di PM variano repentinamente quando il percorso passa da un'area trafficata ad una più tranquilla, senza che nel frattempo si raccolgano valori intermedi di PM.

La Figura 3 mostra la distribuzione geografica dei dati raccolti durante il tragitto. Per completare il percorso è necessaria più di un'ora, pertanto 111 registrazioni dei livelli di PM, per ciascuna dimensione, sono stati raccolti ad ogni tragitto. I cerchi rappresentano la somma dei quattro valori di PM, raccolti ogni 30 secondi, in cui la porzione rossa rappresenta la quantità di PM 1.0, l'arancione la PM 2.5, la verde la PM 4.0, e la blu la PM 10.0. Tale visualizzazione rende evidenti le differenze di PM tra le due finestre di tempo considerate: i cerchi più grandi sono stati misurati durante il percorso delle 9 am, mentre i più piccoli sono stati raccolti alle 11 am.

Infine, Figura 4 mostra la media geografica delle rilevazioni, ottenuta sommando i dati raccolti alle 9 am e alle 11 am dividendoli per il numero di misurazioni raccolte per ciascuna porzione del percorso. Questa visualizzazione aiuta ad identificare le differenti concentrazioni di PM tra le strade principali, solitamente con un valore più alto di PM, e le strade secondarie non affollate.

Discussioni e conclusione

Persone con problemi cardiovascolari e respiratori possono mostrare gravi sintomi in caso di prolungata esposizione ad alti livelli di PM. Le stazioni fisse possono misuare accuratamente i livelli di PM solo in determinate posizioni. Tali stazioni infatti, possono avvisare le fasce deboli della popolazione in caso di alta concentrazione di agenti inquinenti soltanto in zone limitrofe.

Pertanto, questo studio introduce uno strumento in grado di misurare i valori di PM localemnte, a basso costo e portatile. I dati raccolti dal device mostrano un'interessente variazione dei livelli di PM causata principalmente da due fattori: i) la poizione, e ii) il tempo. Non sorprende che le strade più grandi e maggiormente trafficate presentino un valore di PM magiore rispetto a quello misurato nei parchi e nelle strade secondarie. Tuttavia, l'influenza del fattore tempo nella concentrazione di PM è significativa tanto che persino le strade prinicpali presentano un accetabile valore di PM alle 11 am, dovuto alla minore presenza di traffico.

Conseguentemente, a causa della evidente variabilità dei dati raccolti, risulta necessaria l'introduzione di un device personale che possa monitorare in tempo reale i valori di PM influenzati dalla combinazione dei fattori tempo e posizione. Difatti, ricreare la diffusione di PM partendo dai soli dati forniti dalle stazioni fisse non è possibile.

La soluzione proposta in questo studio necessita tuttavia di essere più accessibile se si vuole influenzare il comportamento delle persone vulnerabili e mitigare i rischi derivanti da una lunga esposizione agli agenti inquinanti. Infatti, il device introdotto non permette di leggere i dati in tempo reale direttamente tramite un'interfaccia grafica, poichè tali dati sono salvati direttamnte sulla scheda SD. Pertanto, futuri sviluppi potranno includere l'introduzione di una interfaccia user-friendly, probabilmente nella forma di un'applicazione mobile, allo scopo di avvisare le fasce più deboli della popolazione in caso di condizioni pericolose, permettendogli di agire di conseguenza. Questo ulteriore passo permetterebbe agli utenti non esperti in materia di essere consapevoli dei rischi derivanti dall'inquinamento dell'aria senza che sia richiesta una conoscenza apposita sul tema.

Results

The histograms in Figure 2 represent the collection of data for this research. The distribution of PM is similar for every dimension of particulate considered, especially for the biggest, i.e., from 2.5 to 10 μm. Therefore, looking at the boundary values reported in Table 1, it means that a vast part of the particulate matter has a size from 0.1 to 2.5 μm. Moreover, all the distributions have the same patterns, having almost all the histograms' measurements in the left and right parts. This means that the PM concentration change suddenly when the path switches from a busy area to a quieter one since there are few intermediary values of PM between the two extremes.

Figure 3 shows the geographical distribution of data along the considered path. A single route took more than an hour to be completed; therefore, a total of 111 records were collected for each PM limit. The circles reported in Figure 3 represent the sum of the four PM measurements, taken every 30 seconds (the red portion is PM 1.0, orange is PM 2.5, green is PM 4.0, and blue is PM 10.0). The visualization clearly shows the different PM concentrations between the two time-frames analyzed: the most extensive circles pertain to the measures taken at 9 am, whereas the smallest one is taken at 11 am.

Finally, Figure 4 show the geographic average of the measurements, i.e., the sum of the data collected at 9 am and 11 am divided by the number of measurements taken for each geographic portion of the path. This visualization helps identify the different PM concentrations between principal roads with a higher PM level – and uncrowded secondary streets.

Discussions and conclusion

People with cardiovascular and respiratory diseases suffer in case of high PM concentrations. Stationary monitors can accurately measure PM levels only in fixed locations; therefore, they can warn vulnerable sections of the population in case of high pollutant concentrations only in the surrounding areas.

Therefore, this study introduced a low-cost, portable device that can measure PM locally. The data collected with the device showed an interesting variation of PM levels that can be traced back to two principal factors: i) position and ii) time. Unsurprisingly, busy main roads presented a level of PM bigger than parks or secondary streets. However, the time has a significant influence on PM levels, and even principal streets presented an acceptable PM level at 11 am, due to less traffic.

Consequently, due to the high variability of registered data, it is evident how necessary is a personal device that can monitor real-time PM levels caused by a combination of time and position factors, since it is not possible to recreate PM diffusion from fixed stations data only.

The solution proposed in this study may be more accessible to help modify vulnerable people's behavior and mitigate risks derived from long-exposure to air pollutants. Indeed, the introduced device does not allow to read the data directly in real-time but only store them on an SD card. Therefore, future developments will include developing a user-friendly interface, probably in the form of a mobile application, which might alert vulnerable people when dangerous conditions occur and make them act accordingly. This further step will help non-expert users be aware of air pollution risks without a thematic knowledge of pollutant threshold levels.

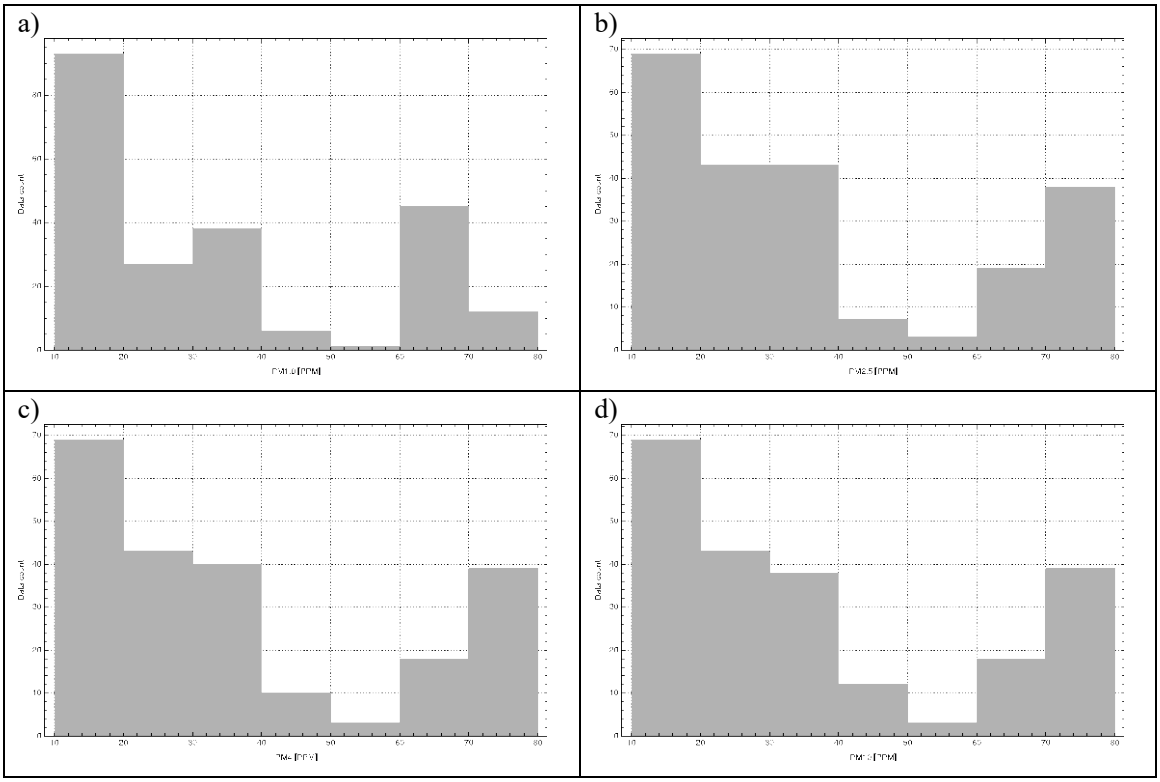


Figura 2: Istogramma dei dati di PM misurati: a) PM1.0; b) PM2.5; c) PM4.0; d) PM10
Figure 2: Histogram of the collected particulate matter data: a) PM1.0; b) PM2.5; c) PM4.0; d) PM10

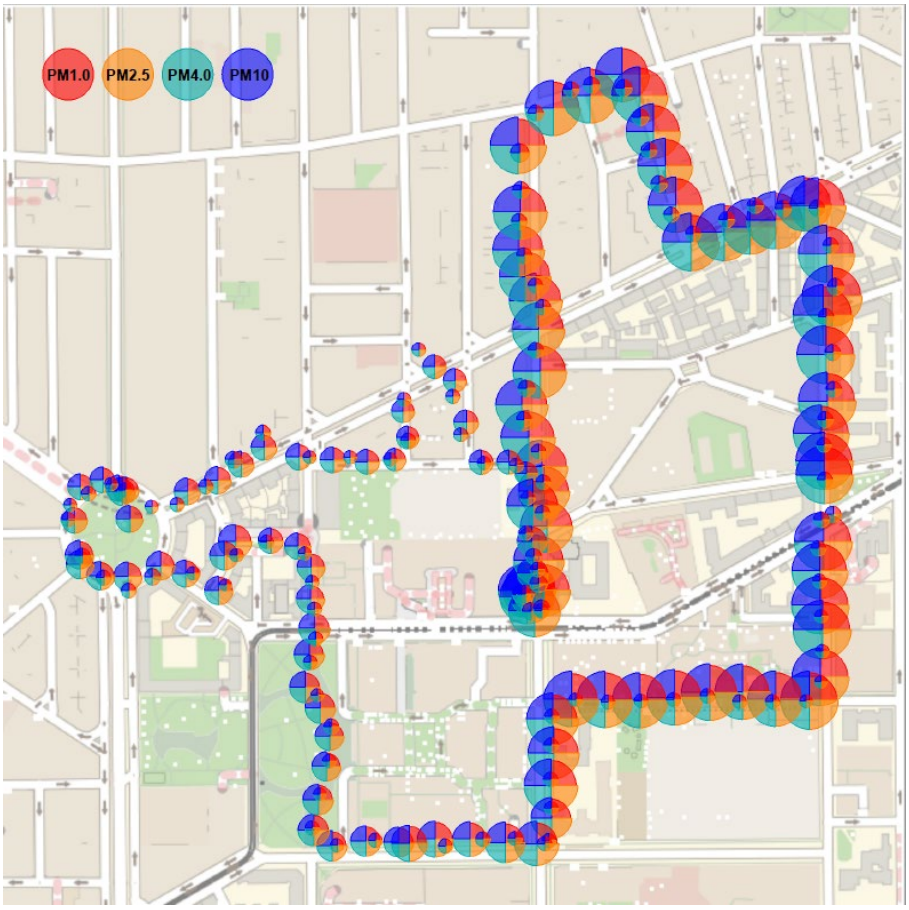


Figura 3: Distribuzione geografica dei dati
Figure 3: Geographical distribution of data

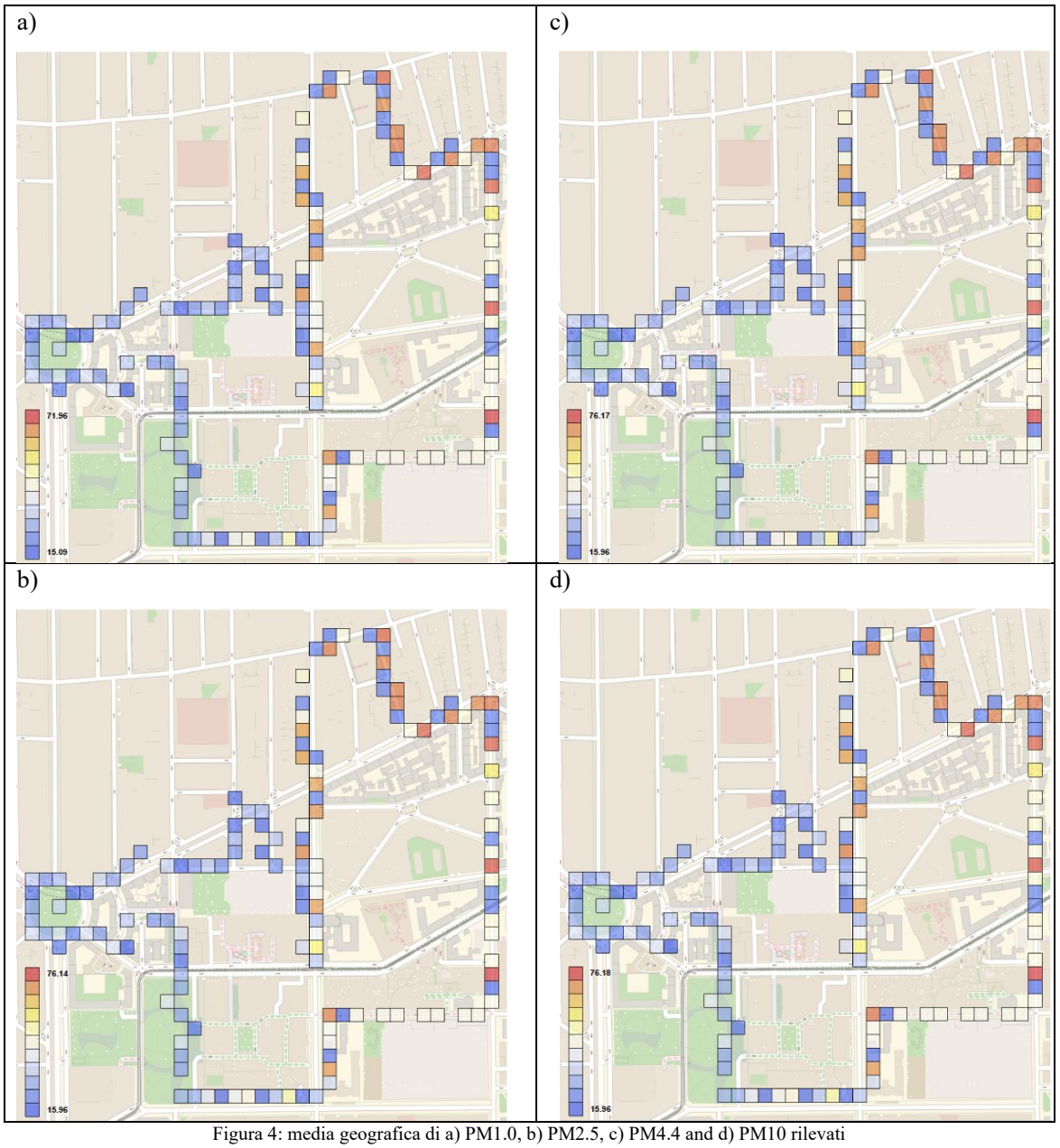


Figura 4: media geografica di a) PM1.0, b) PM2.5, c) PM4.4 and d) PM10 rilevati
Figure 4: Geographic average of a) PM1.0, b) PM2.5, c) PM4.4 amd d) PM10 detected

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Basu, R. (2009) 'High ambient temperature and mortality : a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008', 13. doi: 10.1186/1476-069X-8-40.
- Cadena, J. D. B. et al. (2021) 'A new approach to assess the built environment risk under the conjunct effect of critical slow onset disasters: A case study in Milan, Italy', Applied Sciences (Switzerland), 11(3), pp. 1–14. doi: 10.3390/app11031186.
- Cheng, C. S. et al. (2008) 'Differential and combined impacts of extreme temperatures and air pollution on human mortality in south-central Canada. Part II: Future estimates', Air Quality, Atmosphere and Health, 1(4), pp. 223–235. doi: 10.1007/s11869-009-0026-2.
- European Environment Agency (2018) Global and European temperature, Computer Aided Chemical Engineering. doi: 10.1016/B978-0-444-63433-7.50001-8.
- Farhadi, H., Faizi, M. and Sanaieian, H. (2019) 'Mitigating the urban heat island in a residential area in Tehran: Investigating the role of vegetation, materials, and orientation of buildings', Sustainable Cities and Society. Elsevier, 46(June 2018), p. 101448. doi: 10.1016/j.scs.2019.101448.
- Frumkin, H. et al. (2008) 'Climate change: The public health response', American Journal of Public Health, 98(3), pp. 435–445. doi: 10.2105/AJPH.2007.119362.
- Grenier, D., Lynn, R. and Zurynski, Y. (2009) 'Public health impacts of the International Network of Paediatric Surveillance Units', Paediatrics and Child Health, 14(8), pp. 499–500. doi: 10.1093/pch/14.8.499.
- Gurjar, B. R. et al. (2010) 'Human health risks in megacities due to air pollution', Atmospheric Environment. Elsevier Ltd, 44(36), pp. 4606–4613. doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.08.011.
- Kalkstein, L. S. et al. (1996) 'The Philadelphia hot weather-health watch/warning system: Development and application, summer 1995', Bulletin of the American Meteorological Society, 77(7), pp. 1519–1528. doi: 10.1175/1520-0477(1996)077<1519:TPHWHW>2.0.CO;2.
- Lelieveld, J. et al. (2015) 'The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale', Nature, 525(7569), pp. 367–371. doi: 10.1038/nature15371.
- Luber, G. and McGeehin, M. (2008) 'Climate Change and Extreme Heat Events', American Journal of Preventive Medicine, 35(5), pp. 429–435. doi: 10.1016/j.amepre.2008.08.021.
- Meraklı, M. and Küçükyavuz, S. (2020) 'Risk aversion to parameter uncertainty in Markov decision processes with an application to slow-onset disaster relief', IISE Transactions. Taylor & Francis, 52(8), pp. 811–831. doi: 10.1080/24725854.2019.1674464.
- Michelozzi, P. et al. (2005) 'The impact of the summer 2003 heat waves on mortality in four Italian cities.', Euro surveillance : bulletin européen sur les maladies transmissibles = European communicable disease bulletin. doi: 10.2807/esm.10.07.00556-en.
- Niemenmaa, V. et al. (2018) Air pollution: Our health still insufficiently protected, Public Health Reports.
- Oke, T. R. (1982) 'The energetic basis of the urban heat island (Symons Memorial Lecture, 20 May 1980).', Quarterly Journal, Royal Meteorological Society, 108(455), pp. 1–24.
- Rampini, L. and Re Cecconi, F. (2020) 'Monitoring Outdoor Air Quality Using Personal Device to Protect Vulnerable People', in SENSORDEVICES2020, pp. 103–108. Available at: https://www.researchgate.net/publication/346104300_Monitoring_Outdoor_Air_Quality_Using_Personal_Device_to_Protect_Vulnerable_People.
- Russell, A. G. and Brunekreef, B. (2009) 'A focus on particulate matter and health', Environmental Science and Technology, 43(13), pp. 4620–4625. doi: 10.1021/es9005459.
- Sicard, P. et al. (2021) 'Urban population exposure to air pollution in Europe over the last decades', Environmental Sciences Europe. Springer Berlin Heidelberg, 33(1). doi: 10.1186/s12302-020-00450-2.
- Staupe-Delgado, R. (2020) 'Can Community Resettlement be Considered a Resilient Move? Insights from a Slow-Onset Disaster in the Colombian Andes', Journal of Development Studies. Routledge, 56(5), pp. 1017–1029. doi: 10.1080/00220388.2019.1626836.
- World Health Organization (2014) 'Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s'.
- World Health Organization (2016) Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease. Geneva, Switzerland.

KRANO PARINKIMAS WEB APLINKOJE GRINDŽIAMAS MATOMUMO ANALIZE

SELECTION OF CRANE IN WEB ENVIRONMENT BASED ON VISIBILITY ANALYSIS

Danylo Shkundalov
Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos valdymo ir nekilnojamojo turto katedra, doktorantas. E-mail: danylo.shkundalov@vilniustech.lt
Doctoral student in the Department of Construction Management and Real Estate; Faculty of Civil Engineering; Vilnius Gediminas technical University; Sauletekio ave. 11, 10223 Vilnius. E-mail: danylo.shkundalov@vilniustech.lt

Tatjana Vilutienė
Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos valdymo ir nekilnojamojo turto katedra, docentė. E-mail: tatajana.vilutiene@vilniustech.lt
Department of Construction Management and Real Estate; Faculty of Civil Engineering; Vilnius Gediminas technical University; Sauletekio ave. 11, 10223 Vilnius. Associated Professor, Dr. E-mail: tatajana.vilutiene@vilniustech.lt

Abstract

Any large-scale construction project is inconceivable without the use of a crane for lifting heavy items. The selection of the tower cranes and finding the best position for each crane saves time and money and improves work safety. Performing such an intensive analysis manually, comparing different cranes using many criteria is tedious, time-consuming work. This paper presents an original approach for crane selection based on visibility analysis in the BIM model integrated with the Web environment. The described decision support algorithm involves analysis of crane positioning in the condition of real-world representation model, analysis of crane operator viewport based on the line-of-sight in GIS analysis, crane jib reach analysis. The presented approach allows analysing movable and static crane types, calculate the percentage of the visible and reachable parts of the building, compare crane alternatives and different crane positions.

Keywords
Crane selection; Buildings; BIM model; BIM use case; Visibility analysis; Web environment

Įvadas

Norint pasirinkti racionalų krano arba kranų variantus, svarbu pateikti pakankamą ir išmatuojamą informaciją apie alternatyvias krano/ų pastatymo vietas, atsižvelgti į kiekvieną krano parametrą, palyginti skirtingus kranų tipus ir jų darbo ir judėjimo aikštelėje variantus. Esami tyrimai nagrinėja kelis kranų pasirinkimo būdus. Pavyzdžiui, Alkriz ir Mangin (2005) sukūrė sprendimų paramos priemonę, skirtą nustatyti optimalią krano vietą ir sumažinti persidengiančių darbo vietų plotą. Pagrindinė tyrimų apimtis yra susijusi su optimizavimo užduotimis, susijusiomis su krano ir sandėliavimo vietos optimizavimu, optimalaus kranų skaičiaus ir jų tipų parinkimu (Al Hattab, Zankoul, Barakat ir Hamzeh, 2017; Younes & Marzouk, 2018; Al Hattab, Zankoul ir Hamzeh, 2017), ir kranų darbo zonų persidengimu (Al Hattab, Zankoul ir Hamzeh, 2017, 2014). Reikėtų pabrėžti, kad kranų parinkimo uždavinys gali apimti daugiau kintamųjų nei vien krano ir statybvietės parametrai, nes statybos projektas apima tiekimo grandinės valdymą, kas turi įtakos krano operacijų kalendoriniam grafikui ir lemia ekonominį veiksnį. Pavyzdžiui, Irizarry, Karan, & Jalaei (2013) ištyrė tiekimo valdymą integruojant BIM ir GIS technologijas, kad būtų galima analizuoti išteklių prieinamumą vizualizacijos požiūriu. Tokio tipo tyrimai leidžia sukurti GIS žemėlapį su objektais, kuris yra labai naudingas planuojant procesus, nes vizualiai perteikia informaciją apie jų prieinamumą ir atstūmus. Tokie tyrimai nors ir laikomi papildomais parenkant kraną, tačiau jie gali turėti didelės įtakos statybos procesų valdymui.

Šiuo tyrimu siekiama apibrėžti parametrus, kaip tiksliai nustatyti skirtumą tarp alternatyvių kranų ir kelių kranų junginių. Siūlomas metodas sujungia naujas duomenų rinkimo ir analizės metodus, pagrįstus BIM, GIS ir žiniatinklio (toliau – Web) aplinkos integravimu, ir leidžia sumažinti krano pasirinkimo proceso išlaidas ir laiką. Pagrindinis tyrimo klausimas: Kokie parametrai gali apibrėžti tikslų alternatyvių kranų variantų ir kranų derinių skirtumus ir kaip galima nustatyti šiuos parametrus? Kiti tyrimo klausimai:

- Kaip išanalizuoti BIM modelį Web aplinkoje nepriklausomai nuo BIM modelio geometrijos tipo?
- Kaip tiksliai nustatyti matomą objekto dalį BIM modelyje esančiame Web aplinkoje?
- Kaip tiksliai nustatyti pasiekiamą pastato dalį BIM modelyje esančiame Web aplinkoje?

Šis straipsnis prisideda prie šios srities žinių šiais aspektais:

- Pateikia BIM modelio analizės metodą Web aplinkoje, kuris nesiremia BIM modelio geometrija.
- Pateikia būdą kaip tiksliai nustatyti krano operatoriui matomąją pastato dalį analizuojant BIM modelį Web aplinkoje.
- Pateikia būdą kaip tiksliai nustatyti krano strėlės pasiekiamą pastato dalį analizuojant BIM modelį Web aplinkoje.

Ankstesni tyrimai

Krano parinkimas yra viena iš svarbiausių statybų projekto užduočių (Marzouk & Abubakr, 2016), pavyzdžiui, sunkių konstrukcinių elementų kėlimas ir perkelimas iš sandėliavimo vietos į montavimo vietą (Tam & Tong, 2003). Svarbą taip pat lemia ir ekonominės priežastys (Zavichi, Madani, Xanthopoulos, & Oloufa, 2014). Tinkamas kranas, parinktas pagal keliamąją galią, strėlės siekį ir kitus parametrus, turi būti taip pat ir nebrangus, nes kranų kaina turi didelę įtaką visai projekto kainai (Moussavi Nadoushani, Hammad, & Akbarnezhad, 2016). Norėdami sumažinti krano nuomos kainą projektui dažniau naudojami du kranai (Hornaday & Haas, 1993). Kranų tipas ir skaičius daro įtaką darbų našumui ir trukmei, taip pat svarbu įvertinti, kad kranų darbo vieta laikoma pavojinga zona (Shapiro, Shapiro, & Shapiro, 2011). Krano parinkimo procedūra yra sudėtingas procesas, apimantis įvairių veiksnių analizę. Tokie veiksniai apima, pavyzdžiui, tinkamiausio krano tipo nustatymą atsižvelgiant į reikalaujamas specifikacijas, į statybos projekto poreikius (Abdelmegid, Shawki, & Abdel-Khalek, 2015), vertinant krano pastatymo vietą ir judėjimo kryptis, atsižvelgiant į objekto kitus parametrus (Lewis & Bejczy, 1973;Wang et al., 2011), krovinių kėlimo trajektoriją (Lozano-Perez & Wesley, 1979), pavojingos zonos parametrus (Goldobina, Demenkov, & Trushko, 2019).

Decades ago, the crane selection process was performed by hand-written calculations that required much time consumption. Because of a human factor, such calculations had many mistakes and losses comparable to automated processes. Within the usage of computers, the crane selection process became much easier, faster, and more accurate. To perform the analysis, the building information, its surroundings, and crane specifications should be presented. The most suitable way of how the real-world data can be analysed is to present it in the three-dimensional (3D) space rather than in two-dimensional (2D). Therefore, the 3D models of construction sites and cranes are created more often (Han, Bouferguene, Al-Hussein, & Hermann, 2017; Han, Hasan, Bouferguène, Al-Hussein, & Kosa, 2015). Nonetheless, it should be highlighted that there are researches that still use 2D space for the crane selection process and mathematical calculations of the crane location optimisation based on construction site boundaries (Safouhi, Mouattamid, Hermann, & Hendi, 2011).

The use of Building Information Modelling (BIM) tools for presenting facility information brings many benefits. There is no significant difference between the BIM model and the 3D model for visualisation purposes (Pan, Guo, & Li, 2017). However, for analysis purposes, the BIM model suits much better because of attributive information that is presented inside the model (Bosche & Haas, 2018). Such an approach allows analysing the building and simulate the crane operations, calculate the crane required capacity or length of the boom (Hermann, Hendi, Olearczyk, & Al-Hussein, 2010). The researches can be categorised as follows: selection of a suitable crane type, optimisation of crane location, lifting path planning, coordination of multiple cranes, crane operation visualisation and simulation (Zhou, Guo, Ma, Zhang, & Skitmore, 2021). Wang et al. (2015) developed a system that uses BIM model representation for optimisation of the number of cranes and their types as well as their location. Dutta et al. (2020) investigated in optimisation of the lifting path of an element by the collision detection based on the elevation data presented in the BIM model. Astour and Franz (2014) focused their research on simulation-based layout planning by analysing the possible behaviour of the elements on the construction site. Karan & Irizarry (2015) integrated BIM, GIS and semantic web technology to calculate the crane movement based on geospatial analysis. Irizarry et al. (2012) integrated GIS and BIM environments to optimise locations of multiple cranes to reduce the workspace areas overlapping. However, the presented approach cannot identify the best suitable type of crane.

The existing studies present multiple approaches for crane selection. However, the methods are barely enough to present accurate results comparable not just visually but mathematically. For the crane selection, it is important to provide sufficient and measurable information on alternative crane locations, consider each parameter of the crane, different types of cranes and possible combinations of the cranes. This study aims to define the parameters for the accurate determination of the difference between alternative cranes and crane combinations. The proposed approach combines new technologies and methods for data gathering and analysis based on BIM, GIS and Web environments integration and allows reducing the cost and time for the crane selection process.

Preparations and data gathering

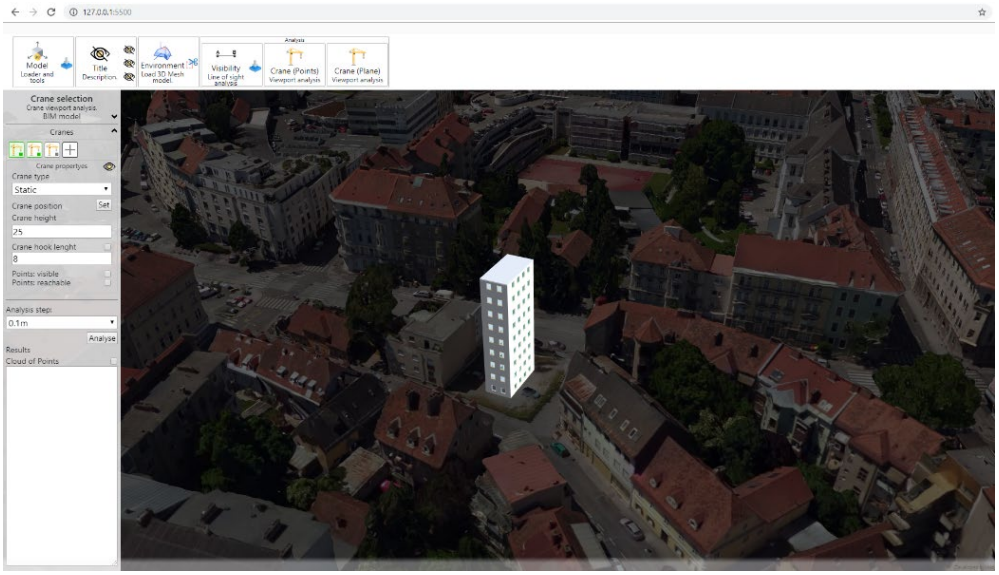
BIM, GIS and Web integration

The starting point of each practical implementation is the development of the environment in which all logic is carried. There are two ways how such an environment can be presented, installable software on the computer or Web-based application. The number of Web-based applications is incredibly small because the set of technologies that allows building 3D web applications was invented just ten years ago. From the perspective of easy access and collaboration, it is clear that Web-based applications have a long list of advantages; therefore, the Web environment has been selected as a base for project development.

As has been highlighted above, the best way to analyse real-world objects is to present them in 3D space. For this purposes, the WebGL (Khronos Group – WebGL, 2021) technology was used. It allows drawing the canvases with the 3D data inside the Web environment. The web-based 3D application can be developed by the WebGL Application Programming Interface (API) itself or by using web libraries that allows to speed up the development process. For this research, the Three.js (three.js, 2021) library has been selected due to sufficient manuals and high community support.

Tyrime „Three.js“ vaizdo vienetai naudojami vietos nustatymui ir koordinačių konvertavimui. Pagrindinio „Three.js“ vaizdo kūrimo kodas šiame straipsnyje nebus pateiktas, nes jį lengvai galima rasti oficialioje svetainėje. Reikėtų pabrėžti, kad matomumo analizei naudojamas duomenų perteikimo technika *raycasting*, skirta sukurti 3D perspektyvą 2D žemėlapyje. Šis įrankis tiesia liniją iš vieno taško į kitą 3D erdvėje. GIS aplinkoje šis įrankis vadinamas regėjimo linija (angl. line-of-sight). GIS ir Web aplinkas galima integruoti įvairiais būdais, tokiais kaip žemėlapių sąsajos, taškų debesies vaizdavimas, GIS sluoksnių naudojimas, aukščio paviršiaus modeliavimas ir kt. Paprastai statybvietėje informacijai apie realaus pasaulio būseną rinkti naudojamas lazerinis skenavimas. Siekiant sumažinti darbo sąnaudas ir laiko sąnaudas, galima naudoti 3D modeliavimą grįsta fotogrametrija.

BIM modelio integravimas į interneto aplinką yra sudėtingesnis. To priežastis yra ta, kad BIM aplinka nebuvo sukurta naudoti kartu su interneto aplinka, be to, visi BIM modeliai yra kuriami nuosavybinėje programinėje įrangoje, tokioje kaip „Autodesk Revit“ ir „Bentley Solidworks“. Tokia patentuota programinė įranga neleidžia tikrinti BIM modelio failų struktūros, nes ji yra užšifruota, todėl atnaujinti nuosavybinio tipo BIM failai išlieka nepalaikomi Web aplinkoje ir negali būti apdorojami už patentuotos programinės įrangos, kurioje jie buvo sukurti, ribų (Shkundalov, 2017). Norint turėti galimybę apdoroti BIM modelį Web aplinkoje, BIM modelį reikia konvertuoti į Web palaikomą failo tipą (Niu, Pan ir Zhao, 2015). Reikėtų pabrėžti, kad plačiai naudojamo IFC failo tipo taip pat negalima apdoroti ir be konversijos. Baigus konversiją, BIM modelio atvaizdavimą galima įkelti į Web aplinką. Rezultate gauta aplinka pateikta 1 paveiksle.



Objekto parametrizavimas

Norint atlikti analizę, reikia surinkti objekto paviršiaus geometrinius parametrus. Dažniausiai informacijai apie pastatą statybvietėje rinkti naudojamas lazerinis skenavimas. Tačiau toks būdas netaikomas naujai statomiems pastatams, todėl geometrinę informaciją reikia surinkti iš BIM modelio. Informacija apie BIM modelio ir bet kokio 3D objekto geometriją gali būti saugoma įvairiais būdais: kaip geometriniai elementai, pavyzdžiui, trikampiai ar kvadratai, kaip paviršiai, kaip kieti objektai, sujungimo taškai, matematiškai apibrėžti objektai ir kt. Šie metodai turi skirtingus tipus, briaunų ilgį, daugiakampių dydžius, o tai lemia skirtingus pranašumus ir trūkumus, tačiau visi jie turi tą patį trūkumą - jie remiasi geometrija, kurią sukūrė BIM modeliavimo programinė įranga arba konversijos įrankis, kuris buvo pritaikytas konvertuoti BIM modelį į Web palaikantį failo formatą. Be to, BIM modelis turi nepertraukiamą geometriją ir, konvertuojamas, dažniausiai keičiamas į „Boundary Representation“ (B-Rep) geometriją, nes Web sprendimai daugiausia orientuoti į šio tipo geometriją. Dėl to neįmanoma sukurti vieningo sprendimo, kuris analizuos visų tipų geometrinę informaciją.

To solve the issue of geometric information collecting from the BIM model a new approach has been developed that is based on the generation of a cloud of points from the BIM model surface. The generation of the points can be done in multiple ways: by using geometry joining points, by generating points on the geometry edges, by a complex algorithm of defining points on the surfaces. However, none of these methods allows generating the cloud of points with equal distance between the points that is necessary for further accurate analysis. Therefore, it was decided to generate points by the detection of the intersection points of the GIS analysis line-of-sight (line) and BIM model surface.

The geometry of the BIM model can be presented in any way; however, the intersection of this geometry with the line always will return only one point. To generate the points for all object surfaces such intersection lines should be generated to all surface of the BIM model, starting from the lowest coordinates of the BIM model in each direction and ending with the highest coordinates. The coordinate increment step can be defined in any range, and it represents the distance between the points. For this article, the span of 10 cm between the points has been defined. It should be highlighted, that a smaller distance between the points increases the accuracy of the analysis; however, it significantly influences the duration of calculations.

As a result, the cloud of points that represents the surface of the BIM model is generated. The advantage of this method is that it does not rely on the type of the BIM model geometry, and each point in the cloud of points has an equal distance with the adjacent points.

Crane specification

The position of the crane needs to be specified to perform the analysis of the crane location. By default, each object in the 3D environment has coordinates in the local coordinate system. The Web-based GIS applications use Mercator coordinate system; therefore, it is necessary to convert local coordinates into Mercator coordinate system. However, as this article is not aiming to present the conversion process of coordinate systems, this algorithm is not presented. More information about such conversion can be found in Shkundalov & Vilutiene (2020) article.

For safety, the check of the distance to the nearest objects needs to be performed. In the present approach, the distance check is done automatically while placing or moving the crane. To check the distance, the same approach of line interruption is used: from the position of the crane, the lines are created in all directions and the distance from the crane position to the nearest objects is checked. In case the distance is smaller than is defined by the system operator, the alert will be shown. The same procedure can be repeated multiple times by changing the height of the casting point to perform a check for all crane body. The advantage of this approach is that it allows checking the distance to any type of the objects presented by any source, such as distance to the building presented by the BIM model, distance to the real world objects presented by 3D mesh model or distance to any other loaded objects.

After the crane location is defined and it suits the minimum required distance to the adjacent objects, the height of the crane and length of the boom can be defined. In case the system operator does not define the specific height of the crane, the minimum required crane height will be automatically calculated based on the height of the building presented in the BIM model. The same logic is applied to the length of the boom: in case the operator did not specify it then the distance from the crane position to the farthest point of the generated cloud of points will be considered as the required length of the boom. In most cases, cranes with long boom cost more than cranes with shorter boom, so it is necessary to keep the proposed value as a reference and not use automatic crane boom length adjustment, but perform an analysis to obtain the optimal length. Moreover, the methodology presented in this article allows to analyse an infinite number of cranes, and this can be considered as an additional advantage of the study. As Lin & Haas (1996) stated, there is a big chance that the usage of two or more cranes will be much more efficient compared to a single crane.

After the location and the height of the crane as well as the length of the boom are defined, the crane workspace area is created. This area is used to analyse the overlapping of the workspace areas in case several cranes are analysed that is useful for safety as has been highlighted in previous studies analysed in this manuscript.

Paskutinis parametras, kuris yra labai svarbus krano pasirinkimo procesui, yra krano keliamoji galia. Šiam parametrui nustatyti informaciją galima paimti iš BIM modelio, nes jame pateikiama įvairiapusė informacija apie visus pastato elementus. Tačiau reikia pažymėti, kad konvertuojant BIM modelio nuosavybės tipo bylas, ne visada tinkamai perkeliama susijusi informacija apie konstrukcijos, elemento ir medžiagos parametrus. Šiam straipsniui reikalinga krano keliamoji galia apibrėžiama pagal sunkiausią BIM modelyje pateiktą elementą. Toks elementas yra betoninė 10.76 m^3 plokštė, kuri sveria 25.42 tonas. Kadangi atliekant analizę šis parametras nebus keičiamas, jo nereikia niekur pabrėžti, išskyrus krano pasirinkimo reikalavimus.

Rezultatai

Integravus BIM modelį realaus pasaulio vaizde kaip 3D tinklo modelį, sistema yra pasirengusi atlikti analizę.

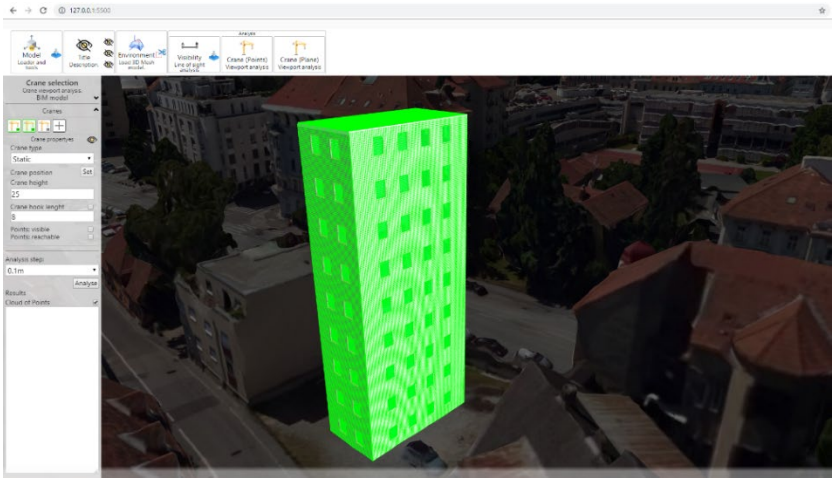
Pateikta analizė pagrįsta linijų iš krano kabinos ar krano operatoriaus matymo lauko generavimu, įvertinus krano vietą ir krano aukštį, iki taškų, kurie saugomi sudarytame analizuojamo objekto taškų debesyje. Kai linijos sugeneruotos, jos naudojamos paskesnei analizei. Jei kranas buvo pašalintas iš modelio, jis nebus analizuojamas ir neturės jokios įtakos gautiems skaičiavimams. Kaip buvo pabrėžta aukščiau, informacija apie kiekvieną tašką yra saugoma, todėl nėra problemų atlikti analizę kiekvieno atskiro taško atžvilgiu.

Šios analizės pabaigoje kiekvienam kranui paskaičiuojami su krano darbu ir konkrečiu BIM modeliu susiję matomumo (angl. *visibility rate*) ir pasiekiamumo (angl. *reachability rate*) rodikliai. Kadangi atstumas tarp šalia esančių taškų yra fiksuotas ir žinomas, kitame analizė žingsnyje galima paskaičiuoti matomo paviršiaus plotą taikant Herono formulę (Heron's formula, 2021) be klaidų (Kahan, 2014) ir padidinti rezultato tikslumą.

BIM modelio parametrizavimas

Pirmasis analizės žingsnis yra taškų debesies generavimas pagal objekto paviršius pateiktus BIM modelyje. Pritaikius skyriuje „Objekto parametrizavimas“ pateiktą logiką, sudaromas taškų debesis su žingsniu 10 cm (2 paveikslas.). Bendras taškų skaičius priklauso nuo objekto dydžio ir apibrėžto žingsnio. Pateiktame projekte bendras taškų skaičius yra 81415, t. y. 808.5 m^2. Informacija apie kiekvieną tašką saugoma tolesnei analizei.

Atstumas tarp taškų yra fiksuotas, todėl kiekvienam analizės žingsniui bus apskaičiuojamas taškų debesies plotas. Taškų debesies generavimas visam pastatui užtrunka 27 sekundes. Šis žingsnis reikalingas vieną kartą analizės pradžioje ir nebus kartojamas tolesnėje analizėje, nebent BIM modelis bus atnaujintas. Jei BIM modelyje pateikiamos skirtingos statybų fazės arba jos yra įkeltos kaip atskiri BIM modelio atvaizdai, šis žingsnis turi būti kartojamas kiekvienam statybos etapui ir kiekvienam etapui bus sukurtas atskiras taškų debesis.



. Image 2. Cloud of points generated from BIM model

Crane location and workspace area

The next step is to specify the cranes inside the real-world representation. As has been highlighted above, in case the crane parameters such as height and length of the boom were not specified by the operator, they would be calculated automatically based on the information presented in the BIM model. In the presented project, the length of the crane boom is set to 8 meters for both cranes. With the help of workspace area representation that is built by the length of the boom, the cranes can be placed with no collision of the highlighted above areas that are presented in figure 3.

Based on calculated parameters, the crane can be selected. By entering crane parameters, different alternatives can be compared. The number of cranes that can be added to the project is unlimited; therefore, there is an opportunity to place as many cranes as needed and specify their unique parameters, compare different combinations of cranes and different locations. Alternative cranes can be excluded from analysis by toggling the relevant icon in the crane settings window.

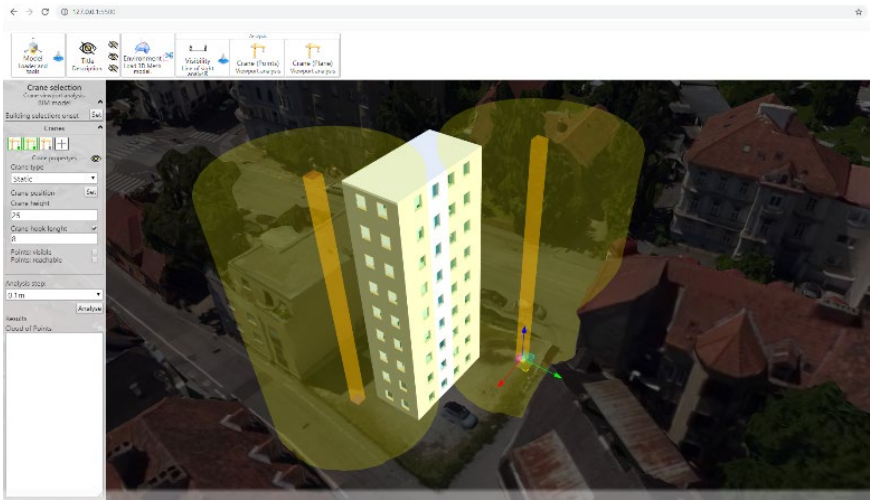


Image 3. Cranes positioning and workspace areas representation

Crane visibility rate

Crane visibility rate is the parameter that represents the percentage of the building or any object under construction that can be visible from the crane cabin. To calculate this parameter, the detection of line interruptions (breaks) is made. In case the generated line has at least one interruption by any object presented in the 3D space, then the point on the building surface, to which the line was cast, is considered as invisible from the crane viewport. After all, points have been analysed, the sum of visible points is calculated. The result of this analysis is presented in figure 4.

This parameter can be useful in case there is a need to identify the optimal crane position from which the largest part of the building can be seen. For example, the optimum location of the crane for the instalment of the exterior walls can be determined by combining calculated visibility rate with the reachability rate. The calculation of visibility rate is made by comparing the total number of points that are stored in the cloud of points and the number of points that can be seen from a crane viewport.

In the presented project, the number of visible points for the first crane is 42290, and the visibility rate is equal to 51.95 %; the number of visible points for the second crane is 40439, and the visibility rate is equal to 49.67 %. The results of the analysis show that approximately equal parts of the facility can be seen from both crane locations; nonetheless, the difference is 2.28 % which means that from the first crane location the visible area of the building is 18.4 m2 larger comparing to the second location.

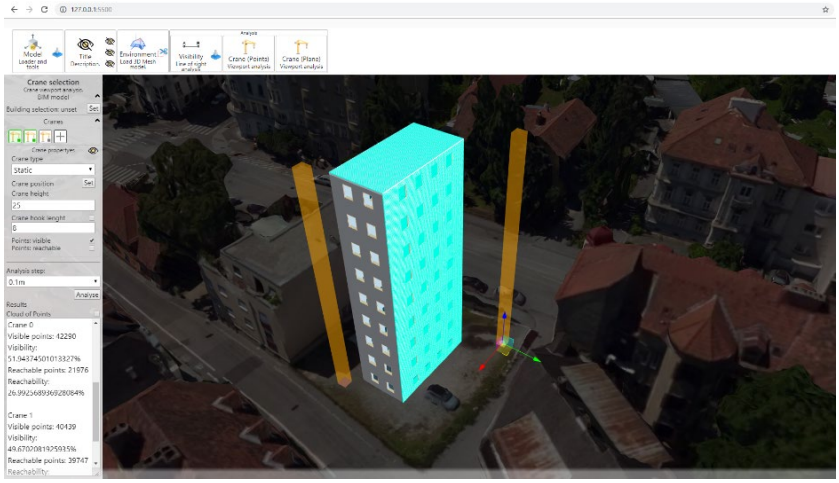


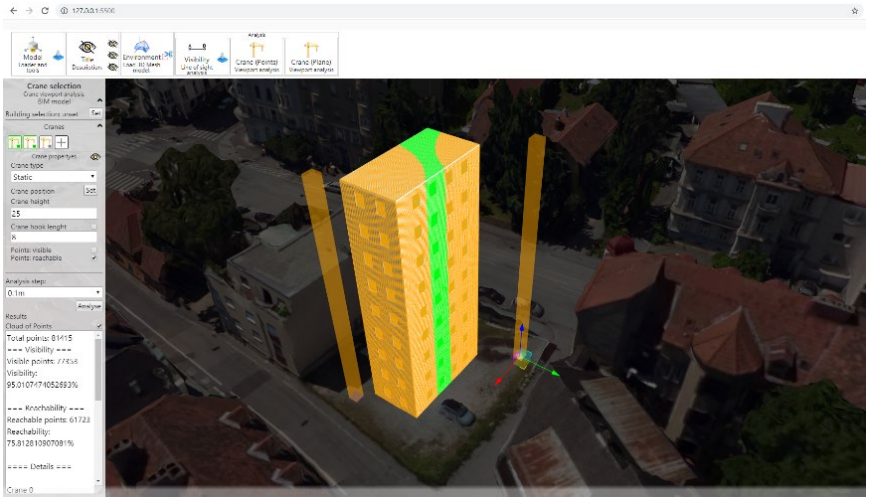
Image 4. Crane visibility rate: blue points are visible from the first crane

Krano strėlės siekio rodiklis (Crane reachability rate)

Šiame tyrime nustatomas krano strėlės siekio rodiklis (angl. *reachability rate*) yra parametras, nurodantis procentinę pastato BIM modelio dalį, kurią galima pasiekti krano strėle iš nurodytos krano darbo vietos. Norint apskaičiuoti šį parametrą, lyginamas nutiestos linijos ilgis su krano strėlės ilgiu: jei nutiestos linijos ilgis yra mažesnis arba lygus krano strėlės ilgiui, taškas ant objekto paviršiaus yra laikoma pasiekiamas. Bokštiniams kranams linija projektuojama ant lygaus paviršiaus, kad būtų išvengta vertikalios koordinačių įtakos, o projekcijos ilgis lyginamas su krano strėlės ilgiu. Atlikus visų taškų esančių debesyje analizę, apskaičiuojama pasiekiamų taškų suma. Šio analizės etapo rezultatas pateiktas 5 paveiksle.

Šis parametras naudingas atliekant užduotis, kurioms esant reikia vertinti strėlės siekį ne tik vizualiai, bet ir matematiškai. Toks metodas leidžia pakankamai tiksliai palyginti alternatyvias krano vietas ir skirtingus strėlės siekius ir tiksliai nustatyti skirtumus.

Pateiktame projekte pasiekiamų taškų skaičius nuo pirmojo krano yra 21976, o strėlės siekio rodiklis (angl. *reachability rate*) yra lygus 26.99 % arba 218,2 m^2. Iš antrojo krano pasiekiamų taškų skaičius yra 39747, o strėlės siekio rodiklis yra lygus 48.82 % arba 394.7 kvadratiniams metrams. Analizės rezultatai rodo, kad tarp dviejų krano vietų yra reikšmingas skirtumas. Tai yra, antroji krano vieta yra 21.83 % efektyvesnė, palyginti su pirmąja vieta, o pasiekiamas plotas yra 176.5 m^2 didesnis.



Krano siekio lygis: žaliųjų taškų negalima pasiekti; galima pasiekti oranžinius taškus. Image 5. Reachability rate: green points are not reachable; orange points can be reached.

Visibility rate of a building

Visibility rate of a building is a parameter that represents the percentage of the BIM model surface that can be visible from at least one crane. The visibility rate of a building is calculated based on the number of visible points gathered for each analysed crane; coinciding points are considered as the same point.

The visibility rate of the presented building in the examined project is equal to 95.01 % that is 77353 points. Based on this parameter the alternative locations of the crane as well as different crane combinations can be compared to achieve the biggest visible surface of the building. Moreover, the usage of this method allows determining the invisible zones of the building in each construction phase in case they are analysed. This gives an opportunity to determine the phases when the crane need to be moved to have a better view.

Reachability rate of the building

The last and the most significant result of the proposed analysis represents the reachability rate for all building surface. The reachability rate of a building is calculated in the same way as the visibility rate of a building, i.e. by summing the number of reachable points from each analysed crane.

The reachability rate for the examined building is 75.81 % that means that the cranes from the specified positions will not reach almost 25% of the building that will cause significant problems in the construction process. The suggestion is to change the positions of the cranes by the relocation of the cranes or rent the cranes with a longer boom. The proposed approach allows excluding the not suitable cranes from the analysis. It is possible to compare different combinations of cranes, for example, one crane with a long boom and a combination of two cranes with shorter booms. Another example is the splitting the working area for several cranes on different construction phases: cheaper crane can be rented for the beginning phases of the construction process, and when the reachable part of the building is larger, and the existing crane becomes unsuitable, then a more expensive crane can be rented.

Conclusions

The crane selection is one of the important tasks in the construction project, as it has a big influence on the project budget, schedule, safety and other aspects of the construction project. To receive precise information about crane operations different crane parameters need to be considered analysing them mathematically and visually. The usage of Web environment allows easy collaboration of the project participants and becomes very popular as a basis for a common data environment. Therefore, the proposed methodology integrates BIM, GIS and Web environments and allows analysing a crane as well as combinations of cranes in the condition of a real-world environment, and based on the BIM model representation inside the Web environment. The results of the performed analysis shown high accuracy of the calculation and proved the usefulness of the developed methodology by comparison of crane alternatives.

The study proposes crane visibility and crane reachability rates that can be applied as additional to conventional parameters used in crane selection analyses. Based on crane visibility rate and crane reachability rate the locations of the cranes can be examined and compared more accurately, which allows determining the optimal locations. Those parameters allow us to not just visualise the difference of the crane specifications, but to understand how exactly they differ. Such an approach allows analysing different construction phases and finds optimal solutions for cranes operation and locations. This enables to reduce the budget of the crane operations and avoid the use of more expensive cranes. The visibility and reachability rates of a building proposed as complementary parameters allow determining how well the parts of a building are visible and reachable from the specific crane position.

The presented study has limitations. Specifically, the cost of crane rent is not considered, as well as the crane type needs to be defined by the system operator. Future investigation will be focused on development of the system that checks the distance to the adjacent objects, notify on insufficient distances and propose alternative positions automatically. To implement this functionality the GIS layer with adjacent objects, such as roads, red lines, communications, need to be connected.

Išvados

Krano pasirinkimas yra viena iš svarbiausių statybos projekto užduočių, nes kranų naudijimas turi didelę įtaką projekto biudžetui, tvarkaraščiui, saugumui ir kitiems statybos projekto aspektams. Norint gauti tikslią informaciją apie krano operacijas, reikia apsvarstyti skirtingus krano parametrus, matematiškai ir vizualiai juos analizuojant. Web aplinkos naudojimas leidžia lengvai bendradarbiauti projekto dalyviams ir tampa labai populiarus kaip bendros duomenų aplinkos pagrindas. Todėl siūloma metodika integruoja BIM, GIS ir Web aplinką ir leidžia analizuoti vieną kraną, taip pat kranų kombinacijas realios aplinkos sąlygomis ir remiantis BIM modelio vaizdavimu interneto aplinkoje atlikti alternatyvų analizę. Atliktos analizės rezultatai parodė didelį skaičiavimo tikslumą ir įrodė sukurtos metodikos naudingumą lyginant kranų alternatyvas.

Tyrime siūlomi krano matomumo (angl. *visibility rate*) ir krano strėlės siekio (angl. *reachability rate*) rodikliai, kurie gali būti taikomi kaip papildomi kartu su kitais įprastais parametrais, naudojamais krano parinkimo analizėje. Remiantis krano matomumo rodikliu ir krano strėlės siekio rodikliu, galima tiksliau išnagrinėti ir palyginti kranų vietas ir pasirinkti optimalias. Šie parametrai leidžia ne tik vizualizuoti krano specifikacijų skirtumą, bet ir suprasti, kuo tiksliai jie skiriasi. Toks požiūris leidžia analizuoti įvairius statybos etapus ir rasti optimalius kranų ir jų darbo vietų sprendimus ir išvengti brangesnių kranų naudojimo. Pastato matomumas ir strėlės siekio rodikliai, siūlomi kaip papildomi parametrai, pastato BIM modelyje integruotame Web aplinkoje leidžia nustatyti, kaip gerai pastato dalys yra matomos ir pasiekiamos iš konkrečios krano padėties.

Pateiktas tyrimas turi ir apribojimų. Šiame tyrime neatsižvelgiama į krano nuomos kainą, taip pat krano tipą turi apibrėžti sistemos operatorius. Ateityje tyrimas bus sutelktas į sistemos, kuri tikrina atstumą iki gretimų objektų, praneša apie nepakankamus atstūmus ir automatiškai siūlo alternatyvias pozicijas, plėtrą. Norint įgyvendinti šią funkciją, reikia sujungti GIS sluoksnį su gretimais objektais, tokiais kaip keliai, raudonos linijos, komunikacijos.

LITERATŪROS ŠALTINIAI/BIBLIOGRAPHY

- Marzouk, M., & Abubakr, A. (2016). Decision support for tower crane selection with building information models and genetic algorithms. Automation in Construction, 61, 1-15., doi: www.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.008.
- Tam, C. M., & Tong, T. K. (2003). GA-ANN model for optimizing the locations of tower crane and supply points for high-rise public housing construction. Construction Management and Economics, 21(3), 257-266. doi: www.doi.org/10.1080/0144619032000049665.
- Zavichi, A., Madani, K., Xanthopoulos, P., & Oloufa, A. A. (2014). Enhanced crane operations in construction using service request optimization. Automation in construction, 47, 69-77. doi: www.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.07.011.
- Moussavi Nadoushani, Z. S., Hammad, A. W., & Akbarnezhad, A. (2017). Location optimization of tower crane and allocation of material supply points in a construction site considering operating and rental costs. Journal of Construction Engineering and Management, 143(1), 04016089. doi: www.doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001215.
- Hornaday, W. C., Haas, C. T., O'Connor, J. T., & Wen, J. (1993). Computer-aided planning for heavy lifts. Journal of construction engineering and management, 119(3), 498-515. doi: www.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1993)119:3(498).
- Shapiro, L.; Shapiro, J. and Shapiro, H.. Cranes and Derricks. Mc Graw Hill, 2011, available: www.ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/7371/1/Cranes%20and%20Derricks.pdf.
- Abdelmegid, M. A., Shawki, K. M., & Abdel-Khalek, H. (2015). GA optimization model for solving tower crane location problem in construction sites. Alexandria Engineering Journal, 54(3), 519-526. doi: www.doi.org/10.1016/j.aej.2015.05.011.
- Lewis, R. A., & Bejczy, A. K. Planning considerations for a roving robot with arm, Proceedings of the 3rd International Joint Conference on Artificial Intelligence, vol. 73, pp. 308-316, 1973, doi: www.ijcai.org/Proceedings/73/Papers/033A.pdf.
- Wang, X., Zhang, Y. Y., Wu, D., & Gao, S. D. (2011). Collision-free path planning for mobile cranes based on ant colony algorithm. In Key Engineering Materials (Vol. 467, pp. 1108-1115). Trans Tech Publications Ltd. doi: www.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.467-469.1108.

- Lozano-Pérez, T., & Wesley, M. A. (1979). An algorithm for planning collision-free paths among polyhedral obstacles. Communications of the ACM, 22(10), 560-570. doi: www.doi.org/10.1145/359156.359164
- Goldobina, L. A., Demenkov, P. A., & Trushko, O. V. (2019) Ensuring the Safety of Construction Works During the Erection of Buildings and Structures. Journal Of Mining Institute, vol. 239, pp. 583-595. doi: www.doi.org/10.31897/PMI.2019.5.583
- Al Hattab, M., Zankoul, E., Barakat, M., & Hamzeh, F. (2017). Crane overlap and operational flexibility: balancing utilization, duration, and safety. Construction Innovation. 18/1, 43–63. doi: www.doi.org/10.1108/CI-11-2016-0062
- Younes, A., & Marzouk, M. (2018). Tower cranes layout planning using agent-based simulation considering activity conflicts. Automation in construction, 93, 348-360. doi: www.doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.030
- Al Hattab, M., Zankoul, E., & Hamzeh, F. R. (2017). Near-real-time optimization of overlapping tower crane operations: a model and case study. Journal of Computing in Civil Engineering, 31(4), 05017001. doi: www.doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000666
- Al Hattab, M., Zankoul, E., & Hamzeh, F. (2014). Optimizing joint operation of two tower cranes through look-ahead planning and process simulation. In Proceedings 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Understanding and Improving Project Based Production. p. 535–546. doi: www.doi.org/10.13140/RG.2.1.3411.1520
- Han, S., Bouferguene, A., Al-Hussein, M., & Hermann, U. (2017). 3D-based crane evaluation system for mobile crane operation selection on modular-based heavy construction sites. Journal of Construction Engineering and Management, 143(9), 04017060. doi: www.doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001360
- Han, S. H., Hasan, S., Bouferguène, A., Al-Hussein, M., & Kosa, J. (2015). Utilization of 3D visualization of mobile crane operations for modular construction on-site assembly. Journal of management in engineering, 31(5), 04014080. doi: www.doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.000031
- Safouhi, H., Mouattamid, M., Hermann, U., & Hendi, A. (2011). An algorithm for the calculation of feasible mobile crane position areas. Automation in Construction, 20(4), 360-367. doi: www.doi.org/10.1016/j.autcon.2010.11.006
- Pan, Z., Guo, H., & Li, Y. (2017). Automated Method for Optimizing Feasible Locations of Mobile Cranes Based on 3D Visualization. Procedia engineering, 196, 36-44. doi: www.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.170
- Bosche, F., & Haas, C. T. (2008). Automated retrieval of 3D CAD model objects in construction range images. Automation in Construction, 17(4), 499-512. doi: www.doi.org/10.1016/j.autcon.2007.09.001
- Hermann, U., Hendi, A., Olearczyk, J., & Al-Hussein, M. (2010). An integrated system to select, position, and simulate mobile cranes for complex industrial projects. In Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice (pp. 267-276). doi: www.doi.org/10.1061/41109(373)27
- Zhou, Y., Guo, H., Ma, L., Zhang, Z., & Skitmore, M. (2021). Image-based onsite object recognition for automatic crane lifting tasks. Automation in Construction, 123, 103527. doi: www.doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103527
- Wang, J., Zhang, X., Shou, W., Wang, X., Xu, B., Kim, M. J., & Wu, P. (2015). A BIM-based approach for automated tower crane layout planning. Automation in Construction, 59, 168-178. doi: www.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.05.006
- Dutta, S., Cai, Y., Huang, L., & Zheng, J. (2020). Automatic re-planning of lifting paths for robotized tower cranes in dynamic BIM environments. Automation in Construction, 110, 102998. doi: www.doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102998
- Astour, H., & Franz, V. (2014). BIM-and simulation-based site layout planning. In Computing in Civil and Building Engineering (2014) (pp. 291-298). doi: www.refhub.elsevier.com/S0926-5805(15)00201-0/rf9600
- Alkriz, K., & Mangin, J. C. (2005). A new model for optimizing the location of cranes and construction facilities using genetic algorithms. In Proceedings 21st Annual ARCOM Conference. London, UK: Springer (pp. 981-91). www.arcom.ac.uk/-docs/proceedings/ar2005-0981-0991_Alkriz_and_Mangin.pdf.

- Karan, E. P., & Irizarry, J. (2015). Extending BIM interoperability to preconstruction operations using geospatial analyses and semantic web services. Automation in Construction, 53, 1-12. doi: www.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.012
- Irizarry, J., Karan, E. P., & Jalaei, F. (2013). Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management. Automation in construction, 31, 241-254. doi: www.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.005
- Irizarry, J., & Karan, E. P. (2012). Optimizing location of tower cranes on construction sites through GIS and BIM integration. Journal of information technology in construction (ITcon), 17(23), 351-366. doi: www.itcon.org/papers/2012_23.content.06091.pdf
- Khronos Group – WebGL", 2021, Available: www.khronos.org/webgl.
- Three.js, 2021, Available: www.threejs.org/docs/index.html#manual.
- Shkundalov, D. (2017). Development of visualization and manipulation methods for BIM and digital city models using Web graphic library. In Proceedings of the 20th Conference for Junior Researchers "Science–Future of Lithuania":"Civil Engineering and Geodesy, pp. 1-6. doi: www.jmk.msk.vgtu.lt/index.php/geodezija/2017/paper/view/146
- Niu, S., Pan, W., & Zhao, Y. (2015). A BIM-GIS integrated web-based visualization system for low energy building design. Procedia Engineering, 121, 2184-2192. doi: www.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.091
- Shkundalov, D., & Vilutienė, T. (2020). Building Management System in WebBIM Environment. In Environmental Engineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE (Vol. 11, pp. 1-5). Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property. doi: www.doi.org/10.3846/enviro.2020.725
- Lin, K. L., & Haas, C. T. (1996). Multiple heavy lifts optimization. Journal of construction engineering and management, 122(4), 354-362. doi: www.trid.trb.org/view/481784
- Heron's formula, 2021, Available: www.en.wikipedia.org/wiki/Heron%27s_formula.
- Kahan, W. (2014). Miscalculating area and angles of a needle-like triangle. Lecture Notes for Introductory Numerical Analysis Classes, pp. 1-23, doi: www.cs.berkeley.edu/~wkahan/Triangle.pdf.

CHAPTER 5

HUMAN RESOURCES

CAPÍTULO 5 RECURSOS HUMANOS

REPRESENTACIÓN DE GÉNERO EN UNA REVISTA DE LA ARQUITECTURA TÉCNICA: UN ANÁLISIS FOTOGRÁFICO

GENDER REPRESENTATION IN A BUILDING ENGINEERING JOURNAL: A PHOTOGRAPHIC ANALYSIS

Ana Isabel Granada Morales
Arquitecta Técnica por la Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España.
Máster Universitario en Edificación, especialidad en gestión. Universitat Politècnica de València.
E-mail: angramo1@edificacion.upv.es
Bachelor Degree in Building Engineer at UPV. Master in Building Constructions, specialization in management at UPV.

Elena Navarro Astor
Departamento de Organización de Empresas. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesora Titular de Universidad. Doctora en Organización de Empresas por la UPV. E-mail: enavarro@omp.upv.es
Department of Business Organization. School of Building Engineering. Universitat Politècnica de València. Senior Lecturer. Phd in Business Organization at UPV.

Abstract

In line with gender equality, the fifth UN Sustainable Development Goal, 959 people photographs published in the 23 volumes of the Building Engineering journal CERCHA are analysed with a gender lens during the period 2015-2020. The aim is to find out how are the genders represented in the photographs and the trend over these 6 years.

The findings from the content analysis show a high proportion of male photographs compared to female ones, resulting in a marked imbalance that does not improve over the years. In addition, the photographs tend to depict men as executives and place them in work-related settings while women hardly appear as managers and are portrayed in non-working settings more often.

It is concluded that it is necessary to take special care in the selection of images published in CERCHA, as they convey powerful messages to all those who read it. It is suggested that an effort be made to make women in the construction sector in general more visible, and in Building Engineering specifically.

Keywords
Building Engineering, CERCHA, Gender Representation, Inequality, Photographs

Introducción

Las fotografías se han venido empleando desde hace décadas para diversos fines, como puede ser la promoción de temas específicos, productos, actividades de ocio, medio ambiente y cuestiones de salud. Como indican Acheson *et al*. (2020, p.1) "las fotografías vistas como instantáneas realistas en el tiempo, representan la verdad o la realidad para los espectadores". En definitiva, las fotografías transmiten mensajes a los profesionales y a la sociedad y son potencialmente influyentes.

En los últimos años ha aumentado el número de investigaciones relacionadas con el género y la representación estereotipada de imágenes publicadas en libros de texto, informes anuales de las organizaciones y sitios web corporativos, entre otros (Benschop & Meihuizen 2002, Bujaki *et al.* 2020, Acheson *et al.* 2020). Algunos trabajos concluyen que las mujeres a menudo se retratan como objetos sexuales, desempeñando roles marcados por estereotipos como el de madre o esposa (Parra 2017, Anderson y Imperia 1992). En cambio, los hombres son retratados en roles de liderazgo, con autoridad y experiencia (Acheson *et al.* 2020, Shen & Samkin 2008).

La arquitectura técnica es una profesión muy masculinizada en cuanto a la colegiación se refiere, con tan solo un 21% de profesionales colegiadas en 2019 (CGATE 2020). Además, esta distribución tan desigual tampoco parece haber mejorado en los últimos diez años.

En base a lo anterior y en línea con el quinto Objetivo de Desarrollo Sostenible de la ONU, igualdad de género, se analizan las imágenes publicadas en la revista de la Arquitectura Técnica CERCHA durante el periodo 2015-2020, con una perspectiva de género. El objetivo es responder a las siguientes preguntas: ¿cómo están representadas las mujeres en las fotografías?, ¿están igual de representadas que los hombres?, ¿cuál es la evolución de la representación a lo largo de los 6 años analizados?, ¿qué roles desempeñan las mujeres retratadas?, ¿dónde se ubican, en qué espacios son retratados hombres y mujeres?

Para conseguir dicho objetivo se ha llevado a cabo un estudio minucioso de los 23 ejemplares publicados por CERCHA, editada por el Consejo General de la Arquitectura Técnica (CGATE a partir de ahora), la Mutua de Seguros a Prima Fija (MUSAAT) y la Previsión Mutua de Aparejadores y Arquitectos Técnicos (PREMAAT). En la elección de los contenidos escritos que publican y también de las imágenes y fotografías que acompañan sus textos dichas entidades muestran cuáles son sus valores y actitudes respecto a muchos temas, incluido también el de la igualdad de género.

La revista CERCHA y su equipo editorial

Es el medio de expresión del CGATE, que representa a todos los Colegios de Aparejadores de España y cuenta con una tirada de 54.000 ejemplares por número (Publimagazine web). Su contenido ha estado siempre ligado a los temas propios de la profesión, a los nuevos avances tecnológicos y a la normativa vigente, pretendiendo ser un medio de comunicación interno y al servicio de todos los profesionales (CGATE 1990).

En la página 5 de cada número se publica el apartado Editorial donde se identifica a las personas que intervienen en su desarrollo. Un análisis de género de estos datos en los 24 ejemplares publicados los últimos 6 años muestra quiénes están detrás de esta publicación.

1. El Consejo Editorial es un equipo de tres miembros, todos hombres, que son los presidentes del CGATE, PREMAAT y MUSAAT.
2. El Consejo de Redacción normalmente lo forma un grupo de cinco personas. Sorprende identificar que en 2015 aparecen dos mujeres, en 2016 sigue presente una de ellas, pero los siguientes años, de 2017 a 2020, solo hombres conforman este consejo.
3. El Gabinete de prensa PREMAAT, Gabinete de prensa MUSAAT y Secretaría del Consejo de Redacción están formados por una única persona que ha sido mujer en el periodo 2015-2020. En 2019 con el nº 140 se crea una nueva figura, Gabinete de prensa CGATE, el cual está también en manos de una mujer hasta hoy.

Se concluye que en los cargos de mayor importancia y poder de decisión, como el Consejo Editorial y el de Redacción, la figura más representativa es la del hombre.

Introduction

Photographs have been used for many decades for various purposes, such as promoting specific themes, products, leisure activities, environment and health issues. According to Acheson et al. (2020, p.1) “photographs, viewed as realistic snapshots in time, represent truth or reality to viewers”. Ultimately, photographs convey messages to professionals and society and are potentially influential.

During the last years there has been extensive research on gender and stereotyping representation of images portrayed in textbooks, organisations’ corporate annual reports and corporate websites, among others (Benschop & Meihuizen 2002, Bujaki et al. 2020, Acheson et al. 2020). A variety of studies conclude that women are often illustrated as sex objects, and in relationship stereotyping roles such as mothers and wives (Parra 2017, Anderson y Imperia 1992). In contrast, men are portrayed in leadership roles and with authority and expertise (Acheson et al. 2020, Shen & Samkin 2008).

Building Engineering is a very male-dominated profession in terms of membership, with only 21% of women members in 2019 (CGATE 2020). Moreover, this unequal gender distribution does not seem to have improved over the last ten years.

Based on the above and in line with gender equality, the fifth UN Sustainable Development Goal, the photographs published in the Building Engineering journal CERCHA are analysed with a gender lens during the period 2015-2020. The aim is to answer the following questions: how are women represented in the photographs?, are they equally represented as men?, what is the evolution of gender representation over these 6 years?, what roles do the women portrayed play?, in which settings are men and women portrayed?

To achieve this aim, a detailed study was carried out of the 23 CERCHA issues published by the Building Engineering General Council (CGATE from now on), the Mutua de Seguros a Prima Fija (MUSAAT) and the Previsión Mutua de Aparejadores y Arquitectos Técnicos (PREMAAT). In the choice of the written content they publish and also of the images and photographs that illustrate their texts, these organisations show what their values and attitudes are regarding many issues, including gender equality.

CERCHA journal and its editorial team

CERCHA is CGATE's means of expression, which represents all the Spanish Building Engineering professional bodies and has a print run of 54,000 copies per issue (Publimagazine web). Its content has always been linked to professional issues, to new technological advances and to current regulations, aiming to be a means of internal communication and to the service of all professionals (CERCHA 1990).

The Editorial section on page 5 of each issue identifies the people involved in its development. A gender analysis of this data in the 24 issues published in the last 6 years shows the people behind this journal.

1. The Editorial Board is a team of three male members, who are the presidents of CGATE, PREMAAT and MUSAAT.
2. The Editorial Office is usually made up of a group of five people. It is surprising to note that there are two women in 2015, one of them is still present in 2016, but only men make up this board in the following years from 2017 to 2020.
3. PREMAAT Press Office, MUSAAT Press Office and the Secretariat of the Editing Board are made up of a single person who has been a woman in the period 2015-2020. In 2019, with No. 140, the CGATE Press Office was created, which until today is also in the hands of a woman.

It is concluded that the man is the most representative figure in the most important and decision-making positions, such as the Editorial and the Editing Boards.

Metodología

Para seleccionar la metodología más adecuada para el análisis se llevó a cabo una revisión bibliográfica de trabajos que analizan imágenes con perspectiva de género en otros contextos, por ejemplo en sitios web (Kyriacou 2016, Bujaki *et al.* 2020) y revistas del sector inmobiliario (Antoniades & Warren 2018). Tras la lectura detenida de dichos trabajos se elaboraron 15 fichas resumen que recogen el modo de análisis seguido, identificando sus ventajas y desventajas. Una vez analizadas, se puede concluir que el método más adecuado para analizar las imágenes es el análisis de contenido.

El análisis de contenido incluye un conjunto de técnicas tendentes a explicar y sistematizar el contenido de los mensajes comunicativos de imágenes, textos y la expresión de ese contenido, con ayuda de indicios cuantificables o no, para obtener así conclusiones o explicaciones contenidas en las imágenes (Andréu 2002). En este caso constituye una técnica de interpretación visual de las imágenes cuyo contenido leído e interpretado nos permite conocer cómo se percibe el género a través de las imágenes publicadas en la revista CERCHA.

Elaboración del cuadro de mandos

En primer lugar, para realizar el registro de las fotografías se elaboró un cuadro de mandos de preguntas cerradas basado en el utilizado por Benschop & Meihuizen (2002) y modificado para los fines de este estudio. Cada fotografía debía ser visualizada y analizada con el fin de responder a las siguientes cuestiones:

1. ¿De qué forma se presenta este material?

   Fotografía de no personas / Fotografía de personas

2. ¿Cuál es el género de los personajes?

   Masculino / Femenino / Ambos / Indeterminado

3. ¿Cuántos personajes están representados?

   Uno / Dos / Tres / Cuatro / Más de cuatro

4. Cuando se representan múltiples individuos, ¿cómo es la representación proporcional de mujeres y hombres en la imagen?

   Solo hombres / Solo mujeres / Mayoría de hombres / Mayoría de mujeres / Equilibrado / Indeterminado

5. ¿En qué escenario se representan los personajes?

   Ubicación laboral / Ubicación no Laboral / Indeterminado

6. ¿En qué rol se representan los personajes masculinos?

   Ejecutivo (Directivo) / Profesional / Mixto / Obrero / Otro

7. ¿En qué rol se representan los personajes femeninos?

   Ejecutiva (Directiva) / Profesional / Mixto / Obrero / Otro

8. ¿Cómo se visten los personajes masculinos?

   Ropa formal / Ropa de trabajo / Ropa casual / Mixta / Indeterminado

9. ¿Cómo se visten los personajes femeninos?

   Ropa formal / Ropa de trabajo / Ropa casual / Mixta / Indeterminado

10. ¿Quién es visto sonriendo?

    Hombre / Mujer / Varios / No / Indeterminado

11. ¿Quién es visto hablando?

    Hombre / Mujer / Varios / No / Indeterminado

Methods

In order to choose the most appropriate methodology for the analysis, a literature review of studies that analyse images with a gender perspective in other contexts was carried out, on websites (Kyriacou 2016, Bujaki et al. 2020) and real estate magazines (Antoniades & Warren 2018) for example. After a thorough reading of these studies, 15 summary cards were drawn up, which show the method of analysis followed, identifying its advantages and disadvantages. Once the cards have been analysed, it can be concluded that content analysis is the most appropriate method for image analysis.

Content analysis includes a set of techniques aimed at explaining and systematising the content of the communicative messages of images, texts and the expression of this content with the help of quantifiable or non-quantifiable indications, in order to obtain conclusions or explanations contained in the images (Andréu 2002). In this case, it is a technique of visual interpretation of the images whose read and interpreted content allows us to understand how gender is perceived through the images published in CERCHA journal.

Score card preparation

Firstly, in order to obtain a consistent quantitative overview of the journal's photographs, a score-card with closed-ended questions was developed. It was based on the one used by Benschop & Meihuizen (2002) and modified for the purpose of this study. Each photograph had to be viewed and analysed to answer the following questions:

1. In which form is the visual material presented?

   Photographs without individuals / Photographs with individuals

2. What is the gender of the main characters?

   Male / Female / Both / Undetermined

3. How many main characters are depicted?

   One / Two / Three / Four / More than four

4. When multiple individuals are depicted, how is the proportional presentation of women and men in the picture?

   Only men / Only women / Majority men / Majority women / Balanced / Undetermined

5. In which setting are the characters depicted?

   In professional environment / in non-professional environment / undetermined

6. In which role are male main characters depicted?

   Executive and managerial / Professional / Mixed / Construction worker / Another

7. In which role are female main characters depicted?

   Executive and managerial / Professional / Mixed / Construction worker / Another

8. How are the male main characters dressed?

   Formal clothing / Work clothing / Casual clothing / Mixed / Undetermined

9. How are the female main characters dressed?

   Formal clothing / Work clothing / Casual clothing / Mixed / Undetermined

10. Who is seen smiling?

    Man / Woman / Several / None/ Undetermined

11. Who is seen talking?

    Man / Woman / Several / None/ Undetermined

Registro de los datos

En segundo lugar las fotografías se registraron en una hoja de cálculo Excel. Se identificó la información básica de cada ejemplar de la revista como número de edición, año de publicación y número de página para cada fotografía. La información restante se anotó en la misma hoja de cálculo en base a diferentes categorías que se perfilaron poco a poco según se avanzaba con el análisis fotográfico.

Categorías:

1. Foto de no personas
2. Foto de personas
3. Género
4. Cantidad de personas
5. Ubicación de cada fotografía
6. Roles Masculinos / Femeninos
7. Vestimenta Masculina / Femenina
8. Pose en las imágenes
9. Vistas
10. Sonriendo
11. Hablando
12. Área de la imagen y Posición física
13. Pie de página

Análisis

Una vez terminada la descripción y registro de cada fotografía se procedió a su análisis global para obtener los resultados. Para ello se creó una nueva hoja de cálculo en la que se seleccionaron únicamente las imágenes de personas, utilizando los condicionantes SI y Y para las diferentes categorías.

Con la función Y comprobamos dos condiciones A y B, el resultado de esta condición que usará la función SI que nos dará como resultado un verdadero o un falso. Esta función se aplica a todas las categorías existentes.

Resultados y discusión

Se contabilizaron un total de 2518 fotografías, de las cuales el 61,9% son de no personas y el 38,1% son de personas. La muestra analizada aquí es por tanto de 959 fotografías, de las cuales 532 representan a figuras masculinas, 126 a figuras femeninas, y 301 muestran imágenes de hombres y mujeres juntos. La Figura 1 muestra estas cifras en porcentajes.

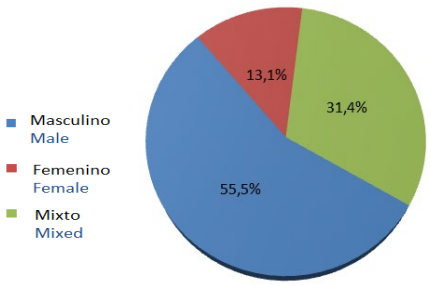


Figura 1. Fotografías de personas por género.

Figure 1. People hotographs by gender.

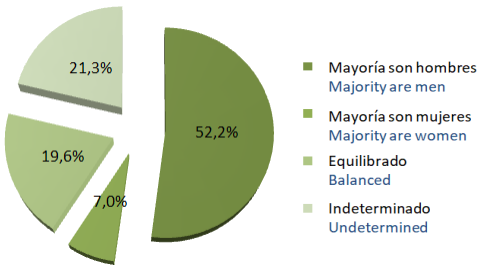


Figura 2. Fotografías de género mixto

Figure 2. Mixed gender photograhs

En las fotografías de género mixto se ha contado el número de hombres y mujeres y como muestra la Figura 2, en más de la mitad (52,2%) la mayoría son hombres. Se concluye así que en CERCHA, numéricamente, los hombres son mucho más visibles que las mujeres.

La Figura 3 muestra la evolución de las fotografías por género en valores absolutos en el periodo analizado. Dada la Ley Orgánica 3/2007 de 22 de marzo, para la igualdad efectiva de mujeres y hombres, y el Real Decreto-ley 6/2019, de 1 de marzo, de medidas urgentes para garantía de la igualdad de trato y de oportunidades entre mujeres y hombres en el empleo, de antemano se esperaba ver una tendencia claramente creciente en el número de fotografías femeninas. Sin embargo, la realidad resulta decepcionante puesto que año tras año el reparto sigue siendo desigual, y la revista representa más al hombre, seguido de fotos mixtas, y mujeres en último lugar.

Data recording

Secondly, the photographs were recorded in an Excel spreadsheet. Basic information for each journal was identified, such as issue number, year of publication and page number for each photograph. The remaining information was then entered into the same spreadsheet based on different categories that were gradually refined as the photographic analysis progressed.

Categories:

1. Photographs without individuals
2. Photographs with individuals
3. Gender
4. Number of individuals
5. Photograph setting
6. Male roles / Female roles
7. Male clothing / Female clothing
8. Pose in the photographs
9. View
10. Smiling
11. Talking
12. Image area and physical position
13. Footer

Analysis

Once each photograph was described and recorded, they were analysed globally to obtain the results. To do this, a new spreadsheet was created in which only the photographs with individuals were selected, using the conditions IF and AND for the different categories.

With the AND function we check two conditions A and B, the result of this condition that will use the IF function that will give us as a result a true or a false. This function applies to all existing categories.

Results and discussion

A total of 2518 photographs were counted, with 61.9% of them not showing individuals and 38.1% with people in them. Thus, the sample analysed here is 959 photographs, with 532 of them depicting male figures, 126 female figures, and 301 showing men and women together. Figure 1 shows these figures in percentages.

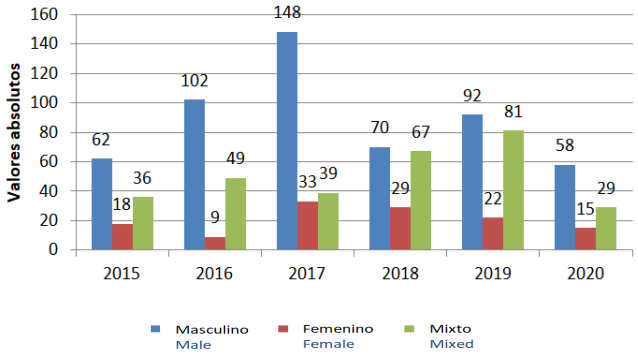


Figura 3. Evolución fotografías por género Figure 3. Evolution of photographs by gender

In the mixed gender photographs, the number of men and women has been counted and as Figure 2 shows, in more than half (52.2%) the majority are men. The conclusion is that men are more numerically visible than women in CERCHA.

Figure 3 illustrates the trend in the number of photographs by gender in absolute values over the period under analysis. Given Organic Law 3/2007 of 22 March, for the effective equality of women and men, and Royal Decree-Law 6/2019 of 1 March, on urgent measures to guarantee equal treatment and opportunities between women and men in employment, it was expected beforehand to see a clear upward trend in the number of female photographs. However, the reality is disappointing as year after year the distribution remains unequal, with the journal portraying more men, followed by mixed photos, and women in last place.

En cuanto a los roles desempeñados por las personas fotografiadas (preguntas 6 y 7 del cuadro de mandos), la Figura 4 muestra que en el 50% de las imágenes de solo hombres, éstos se representan como ejecutivos y/o directivos, mientras que en el caso de las mujeres esto sucede solo en el 15,1% de los casos. Lo contrario ocurre con el rol profesional donde predominan las imágenes de solo mujeres con un 36,5% frente a un 12% de imágenes de solo hombres. Como era de esperar, en el caso de los obreros no se encontraron fotografías de solo mujeres desempeñando este rol, en cambio hubo una representación del 22% de imágenes de solo hombres.

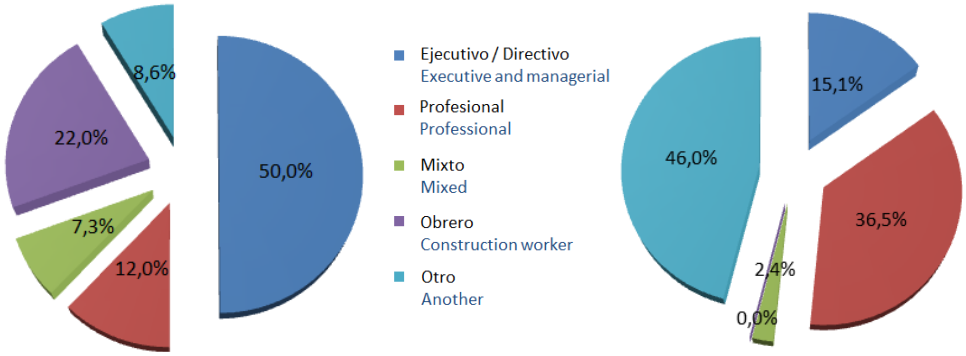


Figura 4. Rol fotografías. Solo hombres izquierda. Solo mujeres derecha

Figure 4. Role photographs. Male only left. Female only right.

Respecto a la ubicación o escenario en el que las personas son fotografiadas, cuando los hombres aparecen solos, son retratados en lugares relacionados con el trabajo el 88,3% de las veces, mientras que cuando las mujeres aparecen solas se muestran en lugares de trabajo en un porcentaje mucho menor (59,5%) (ver Figura 5). Cuando aparecen solas, ellas son fotografiadas en lugares no relacionados con el trabajo en el 27% de las veces y ellos tan solo en el 5,1%.

Conclusiones

Los resultados del análisis de 959 imágenes de personas publicadas a lo largo de los últimos seis años en CERCHA muestran una alta proporción de fotografías masculinas (532) en comparación con las femeninas (126), lo que resulta en un notable desequilibrio de la representación de género en la profesión. En España existen unos 55.000 profesionales de la arquitectura técnica colegiados, de los cuales el 79% son varones y el 21% son mujeres (CGATE 2020). No esperábamos por tanto encontrar una representación de género equitativa, pero sí que la tendencia del protagonismo femenino fuera ascendente, y no ha sido así.

Las fotografías pueden estar contribuyendo a difundir el estereotipo tradicional de género, asociando a los hombres con roles directivos y situándolos en entornos laborales. Por el contrario, son pocas las mujeres que ocupan cargos de responsabilidad y suelen ser retratadas en entornos no laborables.

No se acusa a la revista de sexismo intencionado, pero se recomienda que su consejo editorial ponga un especial cuidado en la selección de las imágenes que se publican en CERCHA, ya que transmiten mensajes poderosos a todas las personas que la consultan. Se sugiere hacer un esfuerzo por visibilizar más a la mujer en el sector de la construcción en general y en la arquitectura técnica en particular.

No hay que olvidar que las publicaciones controladas por los colegios profesionales son la cara pública de la profesión a la que representan. En la elección de los contenidos escritos que publican y de las imágenes que acompañan sus textos muestran cuáles son sus valores respecto a muchos temas, incluido también el de la igualdad de género. Si es cierto que existe un compromiso formal con la igualdad de género, aumentar el número de fotografías en que ellas son protagonistas, desarrollan roles de todo tipo y aparecen en entornos laborales, sería una acción visible para demostrarlo, junto al nombramiento de arquitectas técnicas en el Consejo de Redacción. Seguro que existen profesionales que merecen estar ahí.

With regard to the roles played by the people photographed (questions 6 and 7 of the scorecard), Figure 4 shows that in 50% of male-only images, they are depicted as executives and/or managers, while in the case of women this happens in only 15.1% of cases. The opposite is true for the professional role, where images of only women predominate with 36.5% compared to 12% of male-only images. As expected, there were no female only photographs playing the role of construction workers, but there was a 22% representation of male-only images.

Regarding the location or setting where people are photographed, when the men appear alone, they are portrayed in work-related places 88.3% of the time, while when women appear alone, they are shown in workplaces in a much lower percentage (59.5%) (see Figure 5). When women appear alone, they are photographed in non-work-related locations 27% of the time, as compared to 5.1% for men.

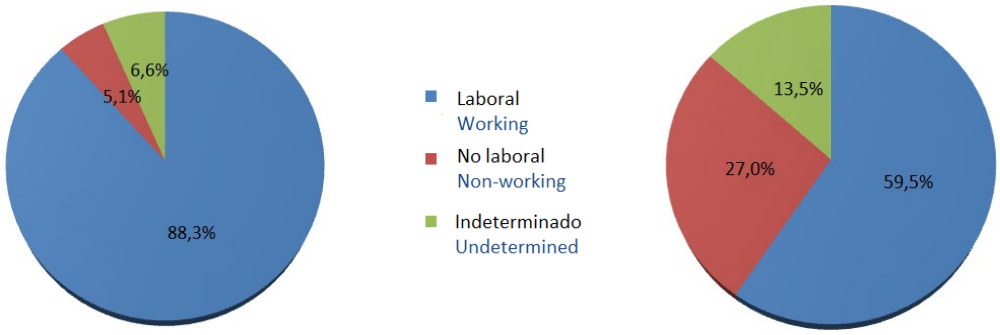


Figura 5. Ubicación fotografías. Solo hombres izquierda. Solo mujeres derecha

Figure 5. Location photographs. Male only left. Female only right.

Conclusions

The findings from the analysis of 959 images of people published in CERCHA over the last six years show a high proportion of male photographs (532) compared to female ones (126), resulting in a marked imbalance of gender representation in the profession. In Spain there are around 55,000 registered building engineers, 79% of whom are men and 21% are women (CGATE 2020). We therefore did not expect to find an equal gender representation, but we did expect female's presence to follow an upward trend, and this has not been the case.

The photographs may be contributing to the dissemination of traditional gender stereotypes, associating men with managerial roles and placing them in working environments. In contrast, few women hold positions of responsibility, being often portrayed in non-working settings.

The journal is not accused of deliberate sexism, but it is recommended that its editorial board take special care in the selection of the images published in CERCHA, as they convey powerful messages to all those who read it. It is suggested that an effort be made to make women more visible in the construction sector in general, and in Building Engineering specifically.

It should not be forgotten that the publications controlled by professional bodies are the public face of the profession they represent. In the choice of the written content they publish and the pictures that go with their texts, they show what their values are on many issues, including gender equality. If it is true that there is a formal commitment to gender equality, increasing the number of photographs in which women are the main characters, play roles of all kinds and appear in working environments would be a visible action to demonstrate this, together with the appointment of female building engineers to the editorial board. Surely there are professionals who deserve to be there.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Acheson, G., Holland, A. & Oettle, S. (2020). *"The Representation of Women in the Photographs of Introductory Human Geography Textboooks"*. Journal of Geography, 1-9.
- Anderson, C.J. & Imperia, G. (1992). *" A Photo Analysis of Male and Female Portrayals"*. The Journal of Bussiness Communication, Vol. 29 No. 2, 113-128.
- Andréu Abela, J. (2002). *"Las técnicas de análisis de contenido una revisión actualizada"*. Fundación Centro de Estudios Andaluces, S2001/03, disponible en http://mastor.cl/blog/wp-content/uploads/2018/02/Andreu.-analisis-de-contenido.-34-pags-pdf.pdf
- Benschop, Y & Meihuizen, H.E. (2002). *"Keeping up genderet appearances: representations of gender in financial annual reports"*, Accounting, Organizations and Society, Vol. 27, 611-636.
- Bujaki, M., Durocher, S., Brouard, F. & Neilson, L. (2020). *"Conflinting Accounts of Inclusiveness in Accounting Firm Recruitment Website Photograhs".* European Accounting Review, 1- 29.
- CGATE (1990). Artículo *"Editorial"*. Revista CERCHA: revista de los aparejadores y arquitectos técnicos, nº1, mayo, 5. Consejo General de la Arqitectura Técnica.
- CGATE (2020). "*Informe La Arquitectura Técnica en España: visión comparada entre hombres y mujeres"*, Revista CERCHA nº 144, p. 40-41.
- Kyriacou, O. (2016). *"Accounting for images of 'equality' in digital space: Towards an exploration of the Greek Accounting Professional Institute"*, Critical Perspective on Accounting, Vol 35, 35-57.
- Parra Vergara, G. F. (2017). *"Caracterización de la representación social de la mujer en las portadas de la Revista HOGAR desde una perspectiva de género desde febrero hasta julio del 2016"*. Trabajo de Titulación. Universidad Central del Ecuador.
- Publimagazine (2020 web). *"Información y tarifas 2020 CERCHA"*. [Online] URL: http://www.publimagazine.com/docs/cercha.pdf
- Shen, J. & Samkin, G. (2008). *"Photographic portrayal of women in the annual reports of companies listed on the New Zealand stock exchange"*, Financial Reporting Regulation and Governance, Vol. 7 (1), 1-35.

INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN. FACTORES INFLUYENTES EN LAS PREFERENCIAS OCUPACIONALES

BUILDING ENGINEERING. INFLUENCING FACTORS ON OCCUPATIONAL PREFERENCES

Margarita Infante-Perea
Departamento de Ingeniería Gráfica; Universidad de Sevilla; Av. de la Reina Mercedes, 4A, 41012 Sevilla, España. Profesora Contratada Doctora, Ingeniera de Edificación, Arquitecta técnica, Doctora por la US.
Department of Graphic Engineering; Universidad de Sevilla (Spain), Assistant Professor, Building Engineer, PhD at US. E-mail: minfante1@us.es

Elena Navarro-Astor
Departamento de Organización de Empresas. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Universitat Politècnica de València (España), Profesora Titular de Universidad. Doctora en Organización de Empresas por la UPV.
Department of Business Organization. School of Building Engineering. Universitat Politècnica de València (Spain). Senior Lecturer. Phd in Business Organization at UPV. E-mail: enavarro@omp.upv.es

Marisa Román-Onsalo
Departamento de Administración de Empresas y Marketing; Universidad de Sevilla; Av. Ramón y Cajal, 1, 41018 Sevilla, España. Profesora Titular de Universidad. Doctora en Administración y Dirección de Empresas por la Universidad de Sevilla.
Department of Business Organization. and Marketing. Universidad de Sevilla (Spain). Senior Lecturer. PhD at US. E-mail: onsalo@us.es

Abstract

This research aims to find out the occupational preferences of future professionals in the Andalusian building sector while they are still studying, and to identify their career paths in relation to the labour market that waits for them. It is a quantitative study carried out with a sample of 704 students about to graduate. The analysis was carried out considering the gender variable in combination with age, previous working experience in the construction sector and whether they had relatives working in the sector. Age is the socio-demographic variable causing more variations in student preferences, with greater influence on women's preferences. For all the variables considered, findings show similarities between main female and male preferences that do not correspond to the occupational segregation of the labour market.

Keywords

Building Engineering, Career development, Construction Sector, Gender, Occupational preferences.

Introducción y objetivos

Aunque se perciben algunos pequeños cambios, en el sector español de la construcción existe todavía una segregación ocupacional horizontal y vertical. Como en otros países, las mujeres han conseguido trabajos técnicos cualificados gracias a su formación, pero en pocas ocasiones se sitúan en puestos estratégicos o de dirección, tendiendo a desarrollar roles concretos, principalmente ocupaciones de oficina, desvinculadas del proceso edificatorio o de trabajo in situ de obra (Infante-Perea et al. 2019). Su participación destaca en tareas de oficina técnica, calidad y medio ambiente, trabajos relacionados con la prevención de riesgos laborales, supervisión de la salud y la seguridad o en estudios de arquitectura. La consecuencia es que los hombres, que ocupan en mayor medida los puestos relacionados con la obra, acaban teniendo mayores posibilidades para crecer en responsabilidad y promocionar que las mujeres. Por tanto, las oportunidades de acceso y desarrollo profesional de las mujeres están limitadas en determinadas áreas (Navarro-Astor & Caven 2014).

En el desarrollo de la vocación profesional, el auto-concepto que una persona va creándose de sí misma es fundamental (Gottfredson 1981). Se refiere a la visión personal que cada individuo tiene de quien es y quien no, de lo que uno espera o desea ser cuando se proyecta en el futuro. En base a esto, las personas buscan trabajos compatibles con su imagen, persiguiendo la congruencia entre su auto-concepto y las imágenes profesionales creadas sobre las distintas ocupaciones, que incluyen generalizaciones sobre la personalidad de la gente que desarrolla los trabajos, las tareas que realizan, el tipo de vida que llevan, las recompensas y las condiciones de trabajo. El ajuste realizado al intentar integrar el auto-concepto y las imágenes ocupacionales da lugar a una serie de preferencias ocupacionales, que serán posteriormente restringidas por la accesibilidad de los trabajos, entendiendo la accesibilidad como "los obstáculos u oportunidades en el entorno social o económico que afecta a las posibilidades que tiene un individuo de conseguir una ocupación determinada" (Gottfredson 1981, p. 548).

Hasta la fecha existe un gran vacío investigador sobre las preferencias laborales del estudiantado universitario que se dirige al sector de la construcción. El trabajo de Infante-Perea et al. (2019), que estudia las preferencias ocupacionales bajo perspectiva de género en la ingeniería de edificación, supone un avance a este respecto. Esta investigación pone de manifiesto que, aunque las ocupaciones más deseadas por mujeres y hombres son las mismas (*Técnico/a de proyectos de reforma, interiorismo y rehabilitación*, *Técnico/a de proyectos de obra nueva*, *Director/a de la ejecución de la obra*, y *Director/a de la obra*), existen importantes diferencias que revelan comportamientos diversos, y la influencia de estereotipos de género cuando se atiende a un marco más amplio y a un análisis más profundo.

Continuando con esta investigación, que parte del modelo de desarrollo de carrera de Linda Gottfredson (Gottfredson 1981), el objetivo del presente trabajo se centra en conocer las preferencias ocupacionales de mujeres y hombres teniendo en cuenta nuevas variables demográficas como la edad, la experiencia previa en el sector de la construcción y la tenencia o no de familiares trabajadores en la industria. Estas preferencias serán pieza clave en el proceso de conformación de las aspiraciones ocupacionales de los/as estudiantes. Saber hacia dónde se inclinan los deseos de unas y otros puede ayudar a averiguar si la segregación horizontal observada en el sector de la construcción se gesta antes del ingreso de los futuros/as egresados/as en el mercado de trabajo.

Esta investigación revela los perfiles profesionales más populares entre los/as estudiantes y muestra cómo dichas preferencias ocupacionales cambian con la edad.

Introduction and aims

Although some slight changes are noticeable, there is still horizontal and vertical occupational segregation in the Spanish construction sector. As in other countries, women have obtained qualified technical jobs because of their training, but they are rarely placed in strategic or managerial positions, and tend to develop specific roles, mainly office occupations, disconnected from the building process or work on site (Infante-Perea et al. 2019). Women's participation stands out in technical office, quality and environmental tasks, work related to occupational risk prevention, health and safety supervision or in architectural firms. The consequence is that men, who occupy construction site related positions to a greater extent, end up having greater possibilities to progress in terms of responsibility and promotion than women. Therefore, women's opportunities for access and career development are limited in certain areas (Navarro-Astor & Caven 2014).

In the development of a professional vocation, the self-concept that a person builds of him/herself is fundamental (Gottfredson 1981). It refers to the personal vision that everyone has of who we are and who we are not, of what one hopes or wishes to be when projecting oneself into the future. On this basis, people look for jobs compatible with their image, pursuing congruence between their self-concept and the professional images created about the different occupations, which include generalizations about people's personalities in the jobs, the tasks they perform, the kind of life they lead, the rewards and the working conditions. The adjustment made in trying to integrate the self-concept and the occupational images gives rise to a set of occupational preferences, which will subsequently be restricted by jobs accessibility. This accessibility is understood as "the obstacles or opportunities in the social or economic environment that affect an individual's chances of attaining a particular occupation" (Gottfredson 1981, p.548).

To date, there is a large research gap on the occupational preferences of higher education students who go into the construction sector. The study by Infante-Perea et al. (2019), which studies occupational preferences under a gender lens in building engineering, represents a step forward in this respect. This research shows that, although the most desired occupations by both women and men are the same (Interior decoration, refurbishment, and rehabilitation projects technician, New building technician, Site execution director and Site director), there are important differences that reveal various behaviours and the influence of gender stereotypes when looking at a broader framework and a more in-depth analysis.

Following on from this research, which builds on Linda Gottfredson's model of career development (Gottfredson 1981), the aim of this paper is to find out women's and men's occupational preferences, considering new demographic variables such as age, previous experience in the construction sector and whether they have relatives working in the industry. These preferences will play a key role in the process of shaping students' occupational aspirations. Knowing which way their desires lean can help to find out whether the horizontal segregation observed in the construction sector takes place before future graduates enter the labour market.

This research reveals the most popular occupational profiles among students and shows how these occupational preferences change with age.

Metodología

Se trata de un estudio cuantitativo realizado con una muestra de 704 estudiantes (37,93% mujeres y 62,07% hombres) a punto de egresar de las Escuelas de Ingeniería de Edificación de Andalucía. Los datos fueron recabados mediante encuesta durante el curso 2014-15.

Para estudiar las preferencias ocupacionales, la encuesta contenía una pregunta que pedía al alumnado puntuar, según escala Likert de razón 1-4 (donde 1 es nada y 4 mucho), su deseo de dedicarse a cada ocupación contemplada en el Libro Blanco de la Edificación (ANECA 2004) (Tabla 1).

El análisis se realizó teniendo en cuenta la variable sexo en combinación con la edad, la experiencia previa en el sector de la construcción y la tenencia o no de familiares trabajadores en el mismo. Para el análisis centrado en la edad, se dividió la muestra en menores de 30 años o bien de 30 en adelante, tomando como referencia la edad media española de maternidad (Eurostat, 2015). Se realizó un estudio descriptivo básico (distribuciones de frecuencias en las puntuaciones, medias, medianas, moda y desviación estándar), así como la prueba de Mann-Whitney para la búsqueda de diferencias significativas y la "d" de Cohen para establecer el tamaño de las diferencias encontradas.

Tabla 1: Perfiles y ocupaciones profesionales definidas en el Libro Blanco del Título de Grado de Ingeniería de Edificación

Dirección técnica de la obra	Gestión de la producción de la obra
- Director de la ejecución de la obra - Director de obra - Técnico de planificación y organización de la obra - Técnico de control y gestión de la calidad - Técnico de control y gestión económicos	- Jefe de obra - Jefe de producción - Técnico responsable de estudios - Técnico responsable de gestión de compras y recursos - Técnico de calidad y medio ambiente
Prevención y Seguridad y Salud	Explotación del edificio
- Coordinador de seguridad y salud en fases de proyecto y de ejecución - Técnico en redacción de estudios y planes de seguridad - Técnico de prevención de riesgos laborales - Auditor de planes de prevención de riesgos laborales y su gestión	- Director de explotación de edificios - Responsable de la conservación y mantenimiento - Técnico redactor de documentos sobre la gestión del uso, conservación y mantenimiento, así como planes de emergencia y evacuación del edificio - Técnico en estudios de ciclo de vida útil, evaluación energética y sostenibilidad de los edificios
Consultoría, Asesoramiento y Auditorias técnicas	Redacción y desarrollo de proyectos técnicos
- Auditor técnico de proyectos y de ejecución de obra - Auditor de sistemas de gestión de calidad y medio ambiente - Experto o consultor técnico en informes, peritaciones, dictámenes, tasaciones, valoraciones y estudios de viabilidad económica - Asesor urbanístico	- Técnico en proyectos de demolición - Técnico de proyectos de reforma, interiorismo, rehabilitación - Técnico de proyectos de obra nueva

Resultados

Del análisis de las tres variables de estudio se desprenden resultados comunes. Cuatro ocupaciones se establecen entre las preferencias de los distintos grupos de estudiantes para más de un 70% de los mismos: "Téc. de proyectos de reforma, interiorismo, rehabilitación", "Téc. de proyectos de obra nueva", "Director/a de la ejecución de la obra" y "Director/a de obra". En cuanto a perfiles profesionales, Redacción de proyectos técnicos y Dirección técnica de la obra son los dos preferidos por mujeres y hombres, independientemente de la edad, la experiencia laboral previa y la existencia de familiares en el sector.

Edad

La edad se asocia a la madurez, al cúmulo de experiencias y a distintas etapas o circunstancias vitales. Es por ello que las preferencias de las personas pueden variar si se analizan los datos atendiendo a ella. A continuación, se comprueba si existen diferencias en los deseos del estudiantado en función de dicha variable, realizando a su vez una comparativa entre los resultados obtenidos para cada sexo.

Methods

This is a quantitative study carried out with a sample of 704 students (37.93% female and 62.07% male) who are about to graduate from the Schools of Building Engineering in Andalusia. Data were collected by means of a survey during the 2014-15 academic year.

In order to study occupational preferences, the survey included a question that asked students to rate, on a Likert scale of 1-4 (where 1 is not at all and 4 is very much), their desire to work in each of the occupations listed in the White Book of building Engineering Degree (ANECA 2004) (table 1).

The analysis was carried out taking into account the gender variable in combination with age, previous work experience in the construction sector and whether or not relatives were working in the sector. For the age-centred analysis, taking the Spanish average childbearing age as a reference (Eurostat, 2015), the sample was divided into those under 30 years of age and those of 30 and older. A basic descriptive study was carried out (frequency distributions in the scores, means, medians, mode and standard deviation), as well as the Mann-Whitney test to search for significant differences and Cohen's d to establish the size of the differences found.

Table 1: Career Paths and occupations considered in the White Book of Building Engineering Degree.

Technical site management	Production site management
- Site execution director - Site director - Site planning and organization responsible - Quality control and management responsible - Control and financial manager	- Site manager - Production manager - Studies manager - Purchasing and resourcing manager - Quality and environment manager
Risk prevention and health and safety	Building operation
- Health and safety coordinator in project and execution stages - Drafting technician of studies and safety plans - Technician of risk prevention in the workplace - Auditor in occupational risk prevention plans and their management	- Building operations manager - Building maintenance and conservation manager - Drafting technician of documents dealing with the use, conservation, and maintenance of buildings, as well as with emergency and evacuation plans - Building technician expert on useful lifetime, energy efficiency, and sustainability estimation
Consultancy and technical auditing	Technical project drafting and development
- Technical auditor of construction projects and site execution - Auditor of quality and environment management systems - Expert or technical consultant in property and real estate reports, valuations, assessments, and viability studies - Urban consultant	- Demolition projects technician - Interior decoration, refurbishment, and rehabilitation projects technician - New building technician

Results

Common results emerge from the analysis of the three study variables. There are four occupations among the preferences of the different groups of students for more than 70% of them: “Interior decoration, refurbishment, and rehabilitation projects technician", "New building technician", "Site execution director” and “Site director”. In terms of career paths, Technical project drafting and development and Technical site management are the two preferred opportunities for women and men, regardless of age, previous work experience and relatives.

Age

Age is related with adulthood, with the accumulation of experiences and different stages or life circumstances. This is why people's preferences may vary if the analysis according to age is carried out. Next, an analysis of whether there are differences in student preferences according to this variable is carried out, and a comparison is made for the results obtained for each sex.

Las mujeres que superan los 30 años expresan mayor inclinación que las más jóvenes hacia las salidas de Dirección técnica de la obra, Consultoría y Explotación del edificio, ya que presentan diferencias significativas de tamaño mediano a su favor en las ocupaciones de "Téc. de control y gestión de la calidad" (p=0,047; d=0,47), "Téc. de control y gestión económicos" (p=0,020; d=0,50), "Auditor/a de proyectos" (p=0,022; d=0,47), "Auditor/a sistemas gestión calidad y medio ambiente" (p=0,030; d=0,46), "Responsable de la conservación y mantenimiento" (p=0,025; d=0,49) y "Director/a de explotación de edificios" (p=0,001), en esta última con diferencias que se aproximan a un tamaño grande (d=0,73).

Así mismo, el estudio de frecuencias muestra que este mismo grupo de mujeres otorgan mayor porcentaje de valoraciones positivas a "Téc. de calidad y medio ambiente" y "Téc. en estudios de ciclo de vida útil, evaluación energética y sostenibilidad" que sus compañeras más jóvenes (63,63% frente al 48,77% y 77,28% frente al 59,43% respectivamente).

Es por ello que, analizando el conjunto de datos, también puede afirmarse que las mujeres que superan los 30 marcan mayor preferencia por las ocupaciones relacionadas con la Calidad y Medio ambiente. En esta área las mujeres de 30 o más años también difieren significativamente de los hombres del mismo grupo de edad, encontrando diferencias medianas en todas las ocupaciones relacionadas: Téc. de calidad y medio ambiente (p=0,013; d=0,62), Auditor/a calidad y medio ambiente (p=0,036; d=0,52), Téc. en estudios de ciclo de vida útil, evaluación energética y sostenibilidad (p=0,033; d=0,49) y Téc. de control y gestión de la calidad (p=0,048; d=0,48). Además, el estudio de frecuencias revela que mientras un alto porcentaje de las mujeres mayores expresa querer dedicarse a las ocupaciones relativas a la Calidad y Medio ambiente, los hombres que superan la treintena manifiestan una baja atracción, oscilando sus puntuaciones positivas entre el 36,15% y 46,99% según la ocupación. Por tanto, a diferencia de ellas, no se espera que éste sea un campo de trabajo al que ellos se dirijan de forma preferente.

Los hombres de más de 30 años tampoco muestran preferencia por la salida de Explotación del edificio (más del 50% puntúa con los valores más bajos de la escala), donde curiosamente las mujeres tienden a aumentar sus puntuaciones con la edad. Lo mismo sucede con Prevención y Seguridad y salud, salida por la que únicamente el grupo de mujeres más jóvenes apuesta con clara decisión (con medias que se aproximan mayoritariamente a 3 puntos sobre 4).

Puede añadirse que los hombres restringen su abanico de preferencias con la edad mientras las mujeres lo amplían notablemente. Así, la mayoría de alumnas de más de 30 años otorga valoraciones positivas a 23 de las 25 ocupaciones, siendo solo 13 para el caso de los hombres de esta edad.

En cuanto a las mujeres y hombres menores de 30 años, del estudio de sus diferencias significativas se extraen resultados similares a los encontrados en Infante-Perea et al. (2019), donde se realizó un análisis por sexos sin considerar otras variables. Estas coincidencias son lógicas dado que el estudiantado más joven conforma los grupos mayoritarios en la muestra.

El diagrama representado en la Imagen 1 resume los resultados del análisis estadístico.

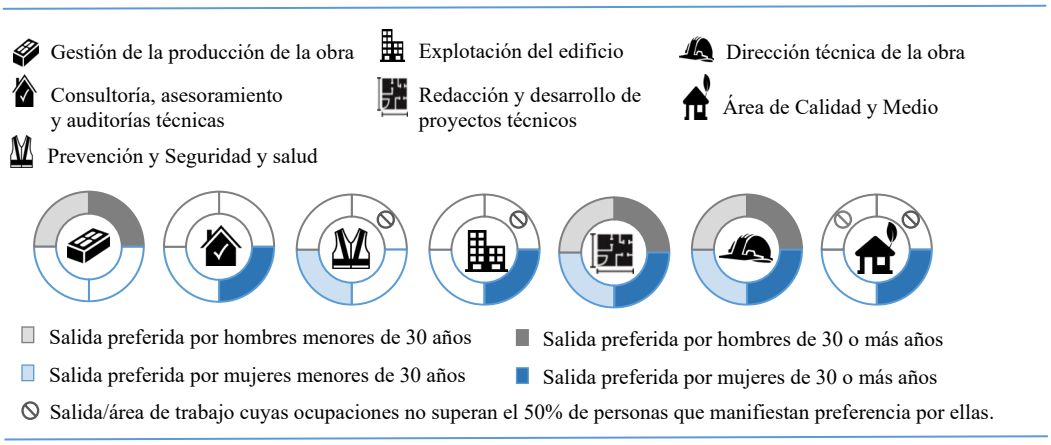


Imagen 1: Salidas preferentes según sexo y grupos de edad. Fuente: Elaboración propia. Autoría de los iconos: Torreisabel.S.L: Redacción y desarrollo de proyectos técnicos; Freepik (http://www.flaticon.com/free-icon) para el resto.

Women older than 30 are more interested than the younger in the career paths of Technical site management, Consultancy and Building operation, as they show significant medium-sized differences in their favour in the following occupations: "Quality control and management responsible" (p=0,047; d=0,47), "Control and financial manager" (p=0,020; d=0,50), "Auditor of construction projects" (p=0,022; d=0,47), "Auditor of quality and environment management systems" (p=0,030; d=0,46), "Building maintenance and conservation manager" (p=0,025; d=0,49) and "Building operations manager" (p=0,001), with the latter showing differences approaching a large size (d=0.73).

Moreover, the frequency distribution of the preferred occupations, shows that this group of women give a higher percentage of positive ratings to "Quality and environment manager" and "Building technician expert on useful lifetime, energy efficiency, and sustainability" than their younger female colleagues (63.63% vs. 48.77% and 77.28% vs. 59.43% respectively).

Therefore, by analysing the data set, it can also be stated that women over 30 years of age have a greater preference for occupations related to Quality and the Environment. In this area, women aged 30 and over also differ significantly from men of the same age group, with medium differences found in all related occupations: Quality and environment manager (p=0,013; d=0,62), Auditor of quality and environment management systems (p=0,036; d=0,52), Building technician expert on useful lifetime, energy efficiency, and sustainability (p=0,033; d=0,49) and Quality control and management responsible (p=0,048; d=0,48). Furthermore, the frequency study reveals that while a high percentage of older women report wanting to work in occupations related to Quality and the Environment, men over thirty are less attracted, with positive scores ranging from 36.15% to 46.99%, depending on the occupation. Hence, unlike women, it is not expected that this is a field of work that men will preferentially target.

Men over 30 years of age do not show a preference for the Building Operation career path either (more than 50% score the lowest values on the scale), while women curiously tend to increase their scores with age. The same is true for Risk prevention and health and safety. Only the youngest group of women is clearly committed towards this professional profile (with averages mostly close to 3 points out of 4).

In addition, men narrow their range of preferences with age, while women widen it considerably. The majority of female students over 30 years give positive ratings to 23 of the 25 occupations, while only 13 are rated positively by men of this age.

As for women and men under 30 years of age, the study of their significant differences yields similar results to those found by Infante-Perea et al. (2019), who carried out an analysis according to sex without considering other variables. These coincidences are reasonable given that young students make up the majority groups in the sample.

The diagram shown in Figure 1 summarizes the results of the statistical analysis.

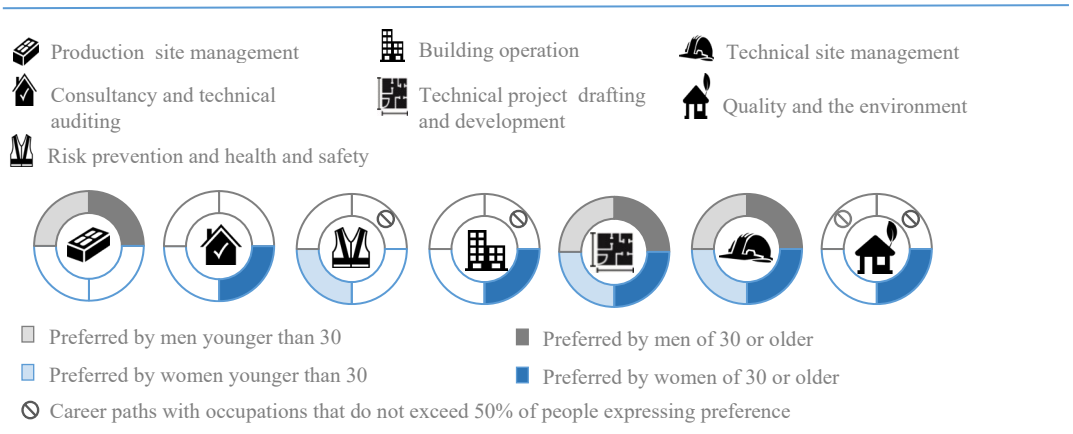


Image 1: Preferred career paths according to sex and age group. Source: Own elaboration. Icons authorship: Torreisabel.S.L: Technical Project, drafting and development; Freepik (http://www.flaticon.com/free-icon) for the rest.

Finalmente se concluye que las preferencias de las futuras egresadas varían según los grupos de edad definidos en el análisis. Las diferencias encontradas en los deseos ocupacionales de las mujeres provocan distintas prioridades a nivel de salidas laborales. La situación es distinta para los hombres, pues pese a las diferencias encontradas, establecen las mismas salidas como opciones preferentes (Imagen 1).

Experiencia laboral en el sector de la construcción

La prueba de contraste para esta variable muestra pocos casos con diferencias estadísticamente significativas en las valoraciones sobre las preferencias ocupacionales.

Según los valores de "p" obtenidos para los hombres, tan sólo se detectan diferencias significativas en 4 de las 25 ocupaciones: "Técnico/a responsable de gestión de compras" (p=0,039; d=0,20), "Técnico/a en proyectos de demolición" (p=0,043; d=0,21), "Técnico/a de planificación y organización de la obra" (p=0,012; d=0,23), "Técnico/a de control y gestión económicos" (p=0,035; d=0,20). En estos casos, se puede afirmar con un 95% de probabilidad que los hombres con experiencia laboral y los que aún no la tienen difieren significativamente en las valoraciones de dichas ocupaciones, produciéndose estas diferencias siempre a favor de los que ya han trabajado. "Técnico/a en proyectos de demolición" (p=0,043; d=0,21) es la excepción, siendo la única más valorada por los que carecen de trayectoria profesional en la edificación.

El número de ocupaciones en el que ambos grupos difieren significativamente es aún más restringido para las mujeres. Con un 95% de confianza puede afirmarse la presencia de diferencias en "Auditor/a téc. de proyectos" (p=0,041; d=0,28) y con un 99% en "Director/a de explotación de edificios" (p=0,008; d=0,42), en ambos casos a favor de las que tienen experiencia laboral previa.

En resumen, las diferencias son escasas y de pequeño tamaño, y las variaciones en las puntuaciones según las distribuciones de frecuencias son leves y van en la misma dirección que las del análisis según la edad. Estos resultados podrían ser los propios de la relación que se establece entre ambas variables, pues casi la totalidad de personas mayores de 30 años de la muestra cuentan con experiencia de trabajo.

Familiares en la industria

La última variable considerada es la familia, entendiéndola como guía, referencia o modelo a seguir por los/as estudiantes de grado, siendo por tanto un elemento influyente en sus aspiraciones.

El estudio de diferencias significativas en las preferencias y el análisis de las valoraciones de los/as participantes al elenco de ocupaciones, revela una baja relación entre tener o no familiares en el sector y las preferencias del alumnado, independientemente de su sexo. Concretamente sólo se aprecian diferencias significativas en las valoraciones de "Experto/a o consultor/a técnico/a en informes, peritaciones, dictámenes, tasaciones, valoraciones y estudios de viabilidad económica" (p=0,041; d=0,17) y "Técnico/a en estudios de ciclo de vida útil, evaluación energética y sostenibilidad" (p=0,008; d=0,27) para los hombres y "Jefe/a de obra" (p=0,027; d=0,29) para las mujeres. En todos los casos se trata de diferencias pequeñas a favor de quienes cuentan con familiares trabajando en el sector.

Conclusiones

- Independientemente de la edad, de la experiencia laboral o de contar con familiares dentro del sector, los dos perfiles profesionales preferidos por el alumnado de Ingeniería en Edificación en general son Redacción y desarrollo de proyectos técnicos y Dirección técnica de la obra.
- La edad es la variable sociodemográfica estudiada con la que se observan más variaciones en las preferencias del alumnado, influyendo en mayor medida en las preferencias de las mujeres. La experiencia laboral y la tenencia de familiares en el sector se presentan como variables poco relevantes.
- Las mujeres de 30 o más años son las que más divergen del resto de sus compañeros/as y amplían el número de ocupaciones con altos niveles de preferencias.
- Las mujeres y hombres más jóvenes de la muestra, grupos más numerosos, contemplan entre sus principales preferencias la Dirección técnica de la obra y la Redacción y desarrollo de proyectos técnicos, por encima del resto de alternativas. Sin embargo, la literatura académica deja claro que

Finally, it is concluded that future female graduates' preferences vary according to the age groups defined in the analysis. The differences found in women's occupational desires lead to different priorities in terms of career paths. However, the situation is different for men, who, despite the differences found, set the same professional profiles as their preferred options (Image 1).

Work experience in the construction sector

The contrast test for this variable gives few cases with statistically significant differences in the ratings of occupational preferences.

According to the "p" values determined for men, significant differences are only found in 4 of the 25 occupations: "Purchasing and resourcing manager" (p=0,039; d=0,20), "Demolition Project technitian" (p=0,043; d=0,21), "Site planning and organization responsible" (p=0,012; d=0,23), "Control and financial manager" (p=0,035; d=0,20). In these cases, there is a 95% probability that men with work experience and men without it differ significantly in their ratings of these occupations, with differences always being in favour of those who have already worked. "Demolition projects technician" (p=0.043; d=0.21) is the exception, as it is the only occupation more highly valued by those with no professional construction experience.

The number of occupations in which the two groups differ significantly is even more restricted for women. With 95% confidence level it can be stated that there are differences in "Technical auditor of construction projects" (p=0,041; d=0,28) and with 99% in "Building operations manager" (p=0,008; d=0,42), in favour of those with work experience in both cases.

In summary, the differences are few and small in size, and the variations in ratings according to frequency distributions are slight and in the same direction as in the age analysis. These results may well be the outcome of the relationship between the two variables, as almost all people over 30 years of age in the sample have work experience.

Relatives in the industry

The last variable examined is the family, considered as a guide, a reference or a model to be followed by undergraduate students, and therefore an influential element in their aspirations.

The study of significant differences in preferences and the analysis of participants assessments of occupations reveal a low link between having or not having relatives in the sector and students' preferences, regardless of gender. In particular, significant differences are only seen in the ratings of "Expert or technical consultant in property and real estate reports, valuations, assessments, and viability studies" (p=0,041; d=0,17) and "Building technician expert on useful lifetime, energy efficiency, and sustainability" (p=0,008; d=0,27) for the men and "Site manager" (p=0,027; d=0,29) for the women. In all cases, the differences are small in favour of those with family members working in the sector.

Conclusions

- Regardless of age, work experience or having relatives in the sector, the two professional profiles preferred by the Building Engineering students in general are Technical project drafting and development and Technical site management.
- Age is the socio-demographic variable studied with the greatest variation in student preferences, with a greater influence on women's preferences. Work experience and relatives in the industry are of little relevance.
- Women aged 30 and over differ the most from their peers and expand the number of most preferred occupations.
- The youngest women and men in the sample, who are more numerous, consider Technical project drafting and development and Technical site management among their main preferences and above the rest alternatives. However, academic literature makes it clear that

las mujeres tienden a emplearse en estudios de arquitectura o trabajos de oficina mientras que los hombres acceden fácilmente a la obra (Infante-Perea et al., 2016; Navarro-Astor & Caven, 2014). Esta segregación de género entre dos salidas muy valoradas por ambos grupos podría explicarse por la percepción y experimentación de barreras de carrera. A su vez, se relaciona con Alm (2015), quien expone que el mercado de trabajo real está aún más segregado que el derivado de los deseos de las personas, señalando que las mujeres expresan una mayor preferencia hacia ocupaciones masculinizadas de lo que más tarde realmente terminan consiguiendo.

- Algunas salidas profesionales se presentan sexuadas ya desde los deseos de los/as futuros/as egresados/as. Así ocurre con Prevención y Seguridad y salud que queda feminizada, y también con las actividades del área de la Calidad y Medio ambiente, donde las mujeres mayores de la muestra expresan clara preferencia frente al resto de estudiantes.
- Creemos necesario abordar un estudio cualitativo complementario, basado en entrevistas en profundidad o discusiones grupales, que permita profundizar en los argumentos que llevan a mujeres y hombres a preferir unas determinadas ocupaciones o salidas laborales frente a otras.

women tend to be employed in architectural studios or office jobs while men have easy access to construction work (Infante-Perea et al., 2016; Navarro-Astor & Caven, 2014). This gender segregation between two career paths highly valued by both groups could be explained by the perception and experience of career barriers. In turn, it could relate to Alm (2015), who argues that the actual labour market is even more segregated than that derived from people's desires, noting that women express a greater preference for masculinised occupations than they later actually end up getting.

- Some career categories are already gendered in future graduates' wishes. Such is the case with Risk Prevention and health and safety, which is feminised, and also with activities within the area of Quality and the Environment, where the older women in the sample express a clear preference over the rest of the students.
- We believe it is necessary to carry out a complementary qualitative study, based on in-depth interviews or group discussions, which will allow to delve deeper into the arguments that lead women and men to prefer certain occupations or job opportunities over others.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación. «Libro blanco: Título de grado de ingeniería de edificación.» Madrid, Spain, (2004).
- Alm, S. «Dreams meeting reality? A gendered perspective on the relationship between occupational preferences in early adolescence and actual occupation in adulthood.» *Journal of Youth Studies*, 18, nº8 (2015): 1077–1095.
- Eurostat 2015. «Women in the EU gave birth to their first child at almost 29 years of age on average.» Accessed Jul 23, 2020. http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/6829228/3-13052015-CP-EN.pdf/7e9007fb-3ca9-445f-96eb-fd75d6792965
- Gottfredson, L. S. «Circumscription and Compromise: A developmental theory of ocupational aspirations.» *Journal of Counseling Psychology Monograph* 28, nº6 (1981), 545–579.
- Infante-Perea, M., Román-Onsalo, M., Navarro-Astor, E. «Relationship between Gender Segregation and Students' Occupational Preferences in Building Engineering.» *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.*, 145, nº4 (2019): 04019014. DOI: 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000422
- Infante-Perea, M., Román-Onsalo, M., Navarro-Astor, E. «Diferencias de género en las percepciones de barreras de carrera en la edificación. un estudio piloto. » In *Mujeres e investigación. Aportaciones interdisciplinares*. VI Congreso Universitario Internacional de Investigación y Género (pp. 361–376). Sevilla, España, (2016).
- Navarro-Astor, E., Caven V. «The professional career of spanish architects: obstacles and facilitators.» In Llinares-Millán C. et al. (eds) *Construction and Building Research*. Springer, Dordrecht, (2014).

FORMACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN A TRAVÉS DE RECURSOS EDUCATIVOS ABIERTOS. PROYECTO CONDAP

TRAINING IN CONSTRUCTION THROUGH OPEN EDUCATIONAL RESOURCES. CONDAP PROJECT

Javier Cárcel-Carrasco
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es
Elisa Peñalvo-López
Ph D. por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética de la UPV. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: elpealpe@upvnet.upv.es
Luis Palmero-Iglesias
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: lpalmero@csa.upv.es
José Ramón Albiol-Ibáñez
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: joalib1@csa.upv.es

Abstract
The construction sector is currently facing the problem of being more and more complex to find workers who are up to the job demands that occur in workplace. This is due to various factors such as the lack of provision of vocational training courses in the right conditions. As they are not training modules of enough quality, they end up not being too attractive for the group of workers in the construction sector, above all because a large part of these professional training modules can be considered somewhat outdated.

That is why the need arises to implement training systems that are most in line with current times and to be able to increase the quality of training for professionals in the construction sector. With this premise arises the CONDAP project, whose objective is focused on promoting the digital skills of mentors and trainers in the construction sector.

Key words: Training of professionals; Work-based learning; CONDAP; Digital skills.

Resumen
El sector de la construcción se encuentra actualmente en el problema de que cada vez resulta más complejo encontrar trabajadores que se encuentren a la altura de las exigencias laborales que se dan en los puestos de trabajo. Esto se debe a diversos factores como la falta de provisión de Cursos formativos de vocación profesional en las condiciones adecuadas. Al no tratarse de módulos formativos de suficiente calidad, acaban no resultando demasiado atractivos para el colectivo de trabajadores del sector de la construcción, sobre todo debido a que gran parte de estos módulos de formación de profesionales se pueden considerar algo anticuados.

Es por ello que surge la necesidad de implantar sistemas de formación lo más acordes a los tiempos que corren, y poder incrementar la calidad de la formación de profesionales del sector de la construcción. Con esta premisa surge el proyecto CONDAP, cuyo objetivo se centra en fomentar las habilidades digitales de los mentores y formadores del sector de la construcción.

Palabras clave: Formación de profesionales; Aprendizaje basado en el Trabajo; CONDAP; Habilidades digitales.

Introducción

El sector de la construcción es uno de los sectores con más movimiento en todos los países tanto desarrollados como en proceso de desarrollo del mundo. Es por ello que la disponibilidad de profesionales adecuadamente formados es requerida constantemente en los lugares de trabajo, para poder llevar a cabo todas las labores de la forma más adecuada posible.

Generalmente la forma más adecuada para formar a nuevos profesionales del sector de la construcción suele centrarse en la WBL (Work Based Learning) (McLernon, T., & Hughes, D. 2004), que se centra en que los alumnos adquieran los conocimientos más relevantes directamente en los lugares de trabajo. El concepto y los beneficios con los que cuenta el sistema WBL se pueden apreciar en la figura 2.

Sin embargo, no basta únicamente con que los alumnos acudan a los lugares de trabajo y observen lo que ocurre, si no que es necesario que cuenten con la tutela de un mentor que sepa explicarles constantemente en qué consisten todas las actuaciones que se dan en el emplazamiento de trabajo.

Lo que se ha podido comprobar recientemente es que los mentores del lugar de trabajo no disponen de las habilidades formativas suficientes para poder formar a los alumnos que aspiran a convertirse en profesionales del sector de la construcción, lo que supone que no se dé una formación adecuada, disminuyendo la calidad del aprendizaje de los aprendices.

Por esta razón, se plantea necesario centrar los esfuerzos en incrementar las habilidades de los mentores de los emplazamientos constructivos (Birkenbihl, M. 2008), con el objetivo de solucionar desde la raíz la carencia de nuevos profesionales del sector de la construcción con los conocimientos suficientes para desarrollar la labor requerida. Este planteamiento surge desde la creación del proyecto CONDAP, co-fundado por la comisión Europea (Web 1; Web 2).

CONDAP cuya imagen de proyecto se puede apreciar en la figura 1, nació en 2018 con el objetivo de mejorar las habilidades formativas de los mentores del sector de la construcción a partir de sistemas de formación digitales. Desde entonces, los socios del proyecto han realizado una exhaustiva investigación acerca de las carencias y necesidades de la formación de profesionales, para poder plantear soluciones a los problemas que se puedan ir encontrando.



Fig. 1. Logo de CONDAP / *CONDAP Logo*

Fuente 1. Proyecto CONDAP / *Source 1. CONDAP Project*

Como resultado de este proceso de iniciación, en el proyecto se ha desarrollado un Curso Vocacional abierto Online, ofrecido a través de Recursos Educativos Abiertos (REA), a partir del desarrollo de unidades de aprendizaje para la capacitación de profesionales.

Introduction

The construction sector is one of the biggest sectors in all developed and developing countries in the world. That is why availability of adequately trained professionals is constantly required in the workplace, in order to carry out all tasks in the most appropriate way possible.

Generally, the most appropriate way to train new professionals in the construction sector tends to focus on the WBL (Work-Based Learning) (McLernon, T., & Hughes, D. 2004), which focuses on the students acquiring the knowledge more relevant directly to the workplace. The benefits and concept of the WBL system can be seen in the figure 2.

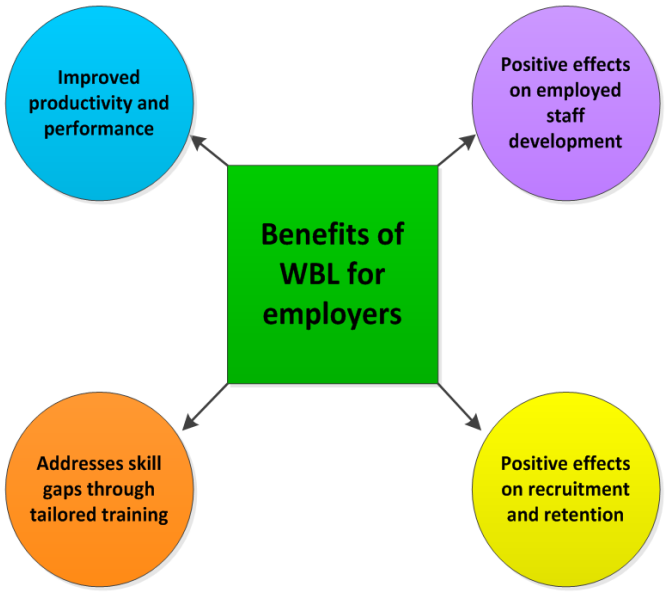


Fig. 2. Beneficios del sistema WBL para los empleadores. / *Benefits of WBL for employers.*

Fuente 2. / *Source 2.* https://epale.ec.europa.eu/

However, it is not enough only for students to go to workplaces and observe what happens, but it is necessary that they have the tutelage of a mentor who knows how to constantly explain to them all the actions that take place in the workplace consist of.

What has been seen recently is that workplace mentors do not have enough training skills to be able to train students who aspire to become professionals in the construction sector, which means that adequate training is not given, decreasing the quality of apprentices' learning.

For this reason, it is necessary to focus efforts on increasing the skills of construction site mentors (Birkenbihl, M. 2008), aiming to solve from the roots the lack of new professionals in the construction sector with the knowledge enough to carry out the required work. This approach arises from the creation of the CONDAP project, co-founded by the European Commission (Web 1; Web 2).

CONDAP, whose image of the project can be seen in figure 1, was born in 2018 with the aim of improving the training skills of mentors in the construction sector through digital training systems. Since then, the partners of the project have carried out an exhaustive investigation about the deficiencies and needs of the training of professionals, in order to be able to propose solutions to the problems that may be encountered.

As a result of this initiation process, the project has developed an open Online Vocational Course, offered through Open Educational Resources (OER), based on the development of learning units for the training of professionals.

Desarrollo del proyecto

Teniendo en cuenta que el objetivo del proyecto se centra en realizar un Curso Vocacional online validado y respaldado por la Comisión Europea, es evidente que este objetivo requiere de una serie de procesos de investigación, análisis, diseño y estudio, para poder ser realizado con éxito.

El transcurso del proyecto se ha centrado en cuatro fases principales, que se han desarrollado conjuntamente entre los cinco socios del proyecto, y que se pueden apreciar esquemáticamente en la figura 3.

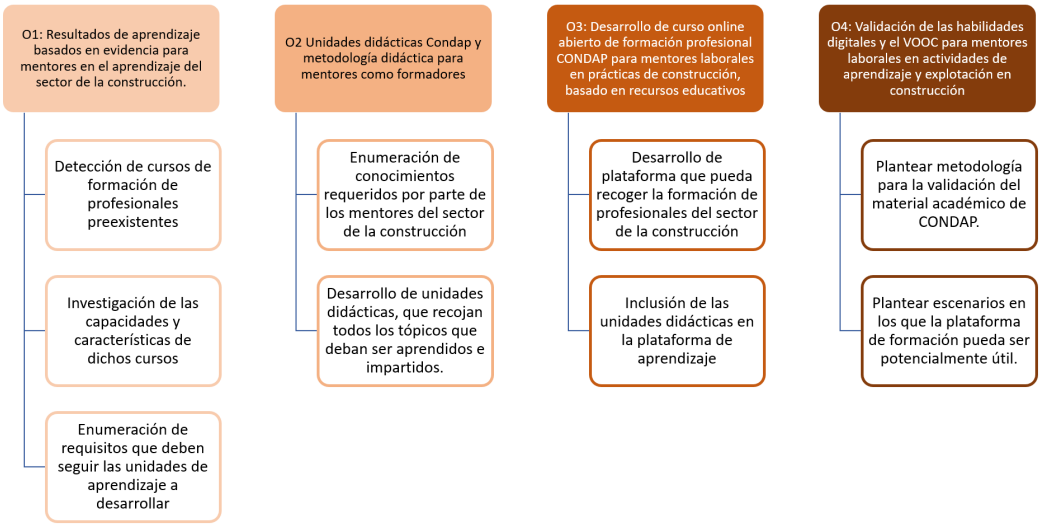


Fig. 3. Desarrollo del proyecto

Fuente 3. Elaboración propia

- En primer lugar, se desarrolló una exhaustiva investigación y análisis de las condiciones preexistentes de la formación por parte de los mentores a los aprendices. Cada uno de los socios analizó tantos módulos de formación de mentores en formato digital como pudo encontrar, realizando una descripción detallada de los tópicos abordados en cada módulo. De esta forma, se pudo obtener un registro de los requisitos que debían tener las unidades de aprendizaje.
- En segundo lugar, se planteó el material académico que se desarrollaría para poder ser impartido a los profesionales sujetos a la formación mencionada. En este proceso los distintos socios colaboraron en la realización de todo el material necesario para la adquisición de conocimientos que los mentores y gerentes de la construcción deberían conocer y ser capaces de impartir a los aprendices.
- A continuación, una vez desarrolladas las unidades didácticas, estas se incluyeron en un curso formativo Vocacional dirigido principalmente a los gerentes y mentores del sector de la construcción, pero abiertas a cualquier particular interesado en cursarlo.
- Por último, con la plataforma del curso de formación online preparada, se debe trabajar en los trámites requeridos para que se puede considerar un curso de formación vocacional válido para la formación de mentores. Se deben plantear todos los escenarios en los que este paquete de formación abierto podría ser útil y válido, para poder comprender la envergadura de las cualidades del curso formativo.

Project development

Taking into account that the objective of the project is focused on carrying out an online Vocational Course validated and endorsed by the European Commission, it is evident that this objective requires a series of research, analysis, design and study processes, in order to be carried out successfully.

The course of the project has focused on four main phases, which have been developed jointly by the five project partners, and which can be seen schematically in figure 4.

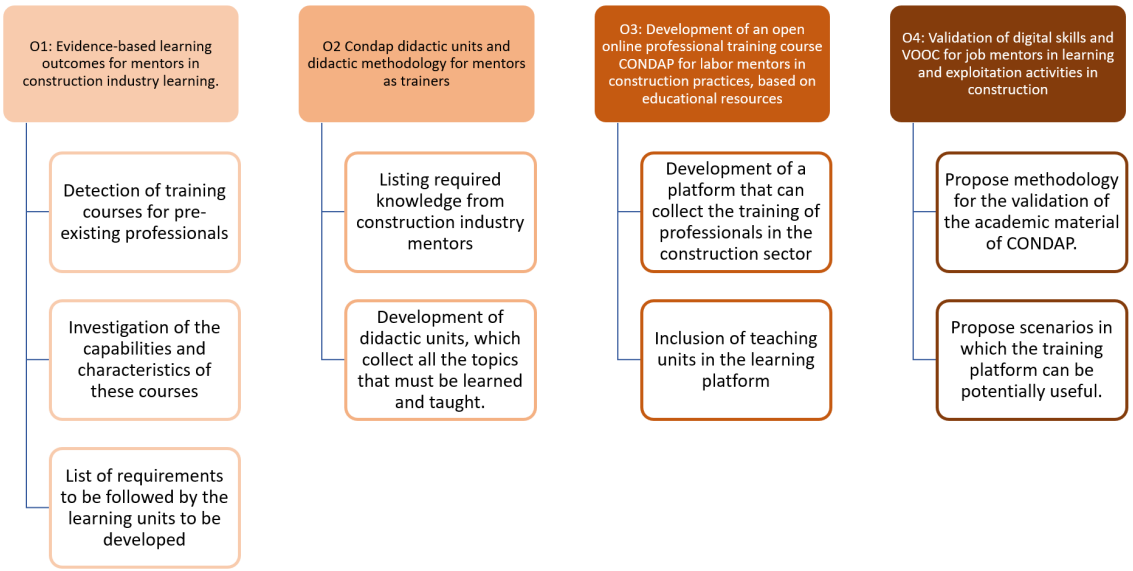


Fig. 4. Project development scheme.

Source 4. Own elaboration

- First, an exhaustive investigation and analysis of the pre-existing conditions of the training were carried out by the mentors to the apprentices. Each of the partners analysed as many mentoring modules in digital format as they could find, making a detailed description of the topics covered in each module. In this way, it was possible to obtain a record of the requirements that the learning units should have.
- Second, the academic material that would be developed to be taught to professionals subject to the training was raised. In this process, the different partners collaborated in the realization of all the material necessary for the acquisition of knowledge that the mentors and construction managers should know and be able to impart to the apprentices.
- Then, once the teaching units had been developed, they were included in a Vocational training course aimed mainly at managers and mentors in the construction sector, but open to any individual interested in taking it.
- Finally, with the platform of the online training course prepared, you must work on the required procedures so that it can be considered a valid vocational training course for the training of mentors. All the scenarios in which this open training package could be useful and valid should be considered, in order to understand the scope of the qualities of the training course.

Desarrollo de Curso formativo online

Para que la formación de profesionales y mentores del sector de la construcción pudiese ser una realidad, era necesario que se pudiese plantear una plataforma en la que poder realizar un módulo de formación vocacional, dirigido tanto al público general así como a los profesionales del sector de la construcción.

Después de plantear diversas plataformas que pudiesen recoger este formato, finalmente se optó por la plataforma de Open Learning. De esta forma, se ha incluido en la plataforma todo el material académico desarrollado, para que pudiera estar a disposición de los aprendices y formadores.

A continuación se puede apreciar el formato en el que se ha desarrollado cada uno de los apartados de formación que se podían considerar.

- Apuntes didácticos. En este apartado se muestra el material en formato de apuntes para que los profesionales y aprendices puedan realizar el curso y leer todo el contenido. El contenido se centra en una presentación como se puede apreciar en la figura 5, junto con algunas anotaciones importantes y algunos consejos de utilidad.



Fig. 5. Ejemplo de apuntes didácticos CONDAP / *CONDAP Didactic notes example*

Fuente 5 / *Source 5.* openlearning.com/courses/condap-vooc

- Preguntas y respuestas. En este apartado cuyo formato se puede apreciar en la figura 6, el curso dota a los aprendices de la posibilidad de contemplar una extensa lista de preguntas típicas que se podrían plantear en el lugar de trabajo. Todas estas preguntas cuentan con sus respectivas respuestas, y son un gran apoyo a los apuntes didácticos planteados previamente.

Casos de estudio. Con este material de apoyo académico visible en la figura 7, lo que se pretende es que los profesionales puedan aplicar sus conocimientos a casos y ejercicios que se puedan dar y encontrar en la vida real. De esta forma pueden afianzar los conocimientos.

Development of an online training course

For the training of professionals and mentors in the construction sector to become a reality, it was necessary to create a platform in which to carry out a vocational training module, aimed at both the general public as well as professionals in the construction sector. construction.

After proposing various platforms that could collect this format, the Open Learning platform was finally chosen. In this way, all the academic material developed has been included in the platform, so that it could be made available to learners and trainers.

Below you can see the format in which each of the training sections that could be considered has been developed.

- Didactic notes. This section shows the material in the format of notes so that professionals and learners can take the course and read all the content. The content focuses on a presentation as can be seen in figure 5, along with some important annotations and some useful tips.
- Questions and answers. In this section, the format of which can be seen in figure 6, the course provides trainees with the possibility of contemplating an extensive list of typical questions that they could ask in the workplace. All these questions have their respective answers and can be a great support to the didactic notes previously raised.

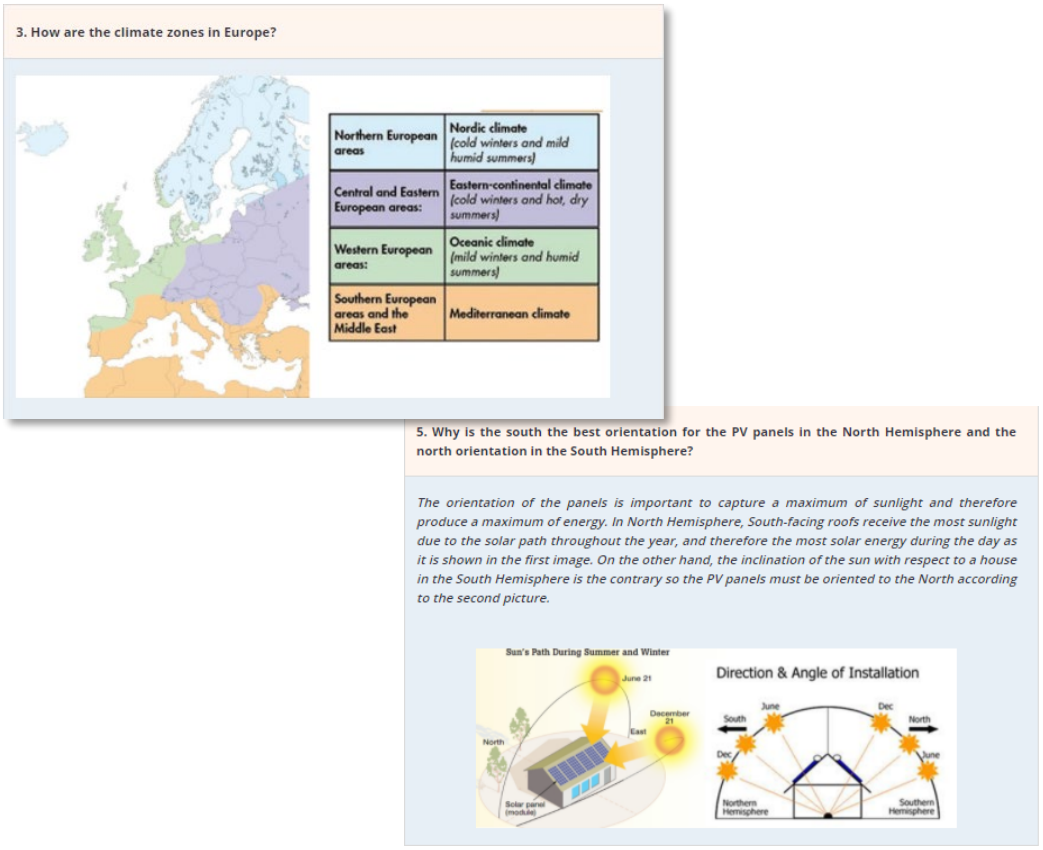
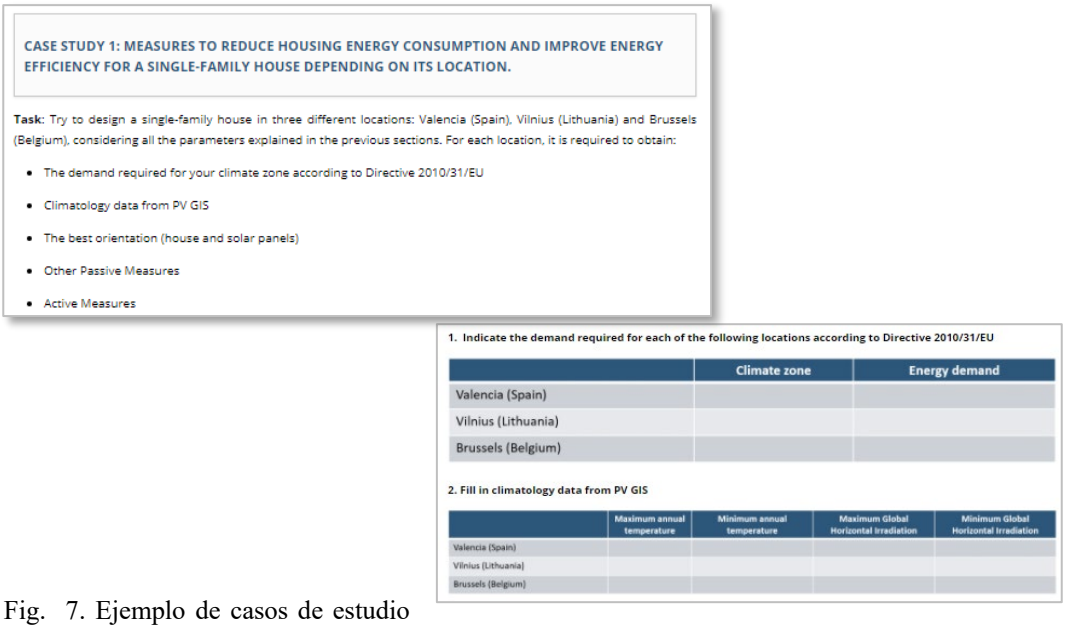


Fig. 6. Ejemplo de preguntas y respuestas CONDAP / *CONDAP Q&A example.*

Fuente 4 / *Source 6* openlearning.com/courses/condap-vooc .

- Study cases. With the academic support material visible in figure 7, what is intended is that professionals can apply their knowledge to cases and exercises that can be given and found in real life. In this way, they can strengthen their knowledge.



CASE STUDY 1: MEASURES TO REDUCE HOUSING ENERGY CONSUMPTION AND IMPROVE ENERGY EFFICIENCY FOR A SINGLE-FAMILY HOUSE DEPENDING ON ITS LOCATION.

Task: Try to design a single-family house in three different locations: Valencia (Spain), Vilnius (Lithuania) and Brussels (Belgium), considering all the parameters explained in the previous sections. For each location, it is required to obtain:

- The demand required for your climate zone according to Directive 2010/31/EU
- Climatology data from PV GIS
- The best orientation (house and solar panels)
- Other Passive Measures
- Active Measures

1. Indicate the demand required for each of the following locations according to Directive 2010/31/EU

	Climate zone	Energy demand
Valencia (Spain)		
Vilnius (Lithuania)		
Brussels (Belgium)		

2. Fill in climatology data from PV GIS

	Maximum annual temperature	Minimum annual temperature	Maximum Global Horizontal Irradiation	Minimum Global Horizontal Irradiation
Valencia (Spain)				
Vilnius (Lithuania)				
Brussels (Belgium)				

Fig. 7. Ejemplo de casos de estudio CONDAP / *CONDAP case studies example*

Fuente 5 / *Source 7* openlearning.com/courses/condap-vooc

- Preguntas de respuesta corta. También con el objetivo de poner a prueba los conocimientos obtenidos de los aprendices, como se puede ver en la figura 8.
- Preguntas de respuesta múltiple. Del mismo modo que ocurre con las figuras, en este caso se plantean ejercicios rápidos para comprobar el conocimiento adquirido, visibles en la figura 9.

Conclusión

Teniendo en consideración las carencias con las que cuentan los nuevos profesionales del sector de la construcción, desde el proyecto CONDAP se ha realizado una extensa investigación acerca de los tópicos menos presentes en los distintos ámbitos académicos, con el objetivo de plantar las bases para poder fomentar y mejorar las habilidades docentes de los mentores y gerentes de los emplazamientos constructivos. Los socios del proyecto CONDAP han realizado finalmente un curso vocacional abierto al público para mejorar las opciones docentes tanto de los mentores y formadores en el lugar de trabajo, como de los aprendices y futuros profesionales del sector de la construcción.

Agradecimientos

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del proyecto CONDAP "Habilidades digitales para mentores en el lugar de trabajo en aprendizajes del sector de la construcción" financiado por la Comisión Europea dentro de la Acción Clave 2: Cooperación para la innovación e intercambio de buenas prácticas, número de referencia 2018-1-UK01-KA202-048122.

- Short answer questions. Also aiming to test the knowledge obtained from the apprentices, as can be seen in figure 8.

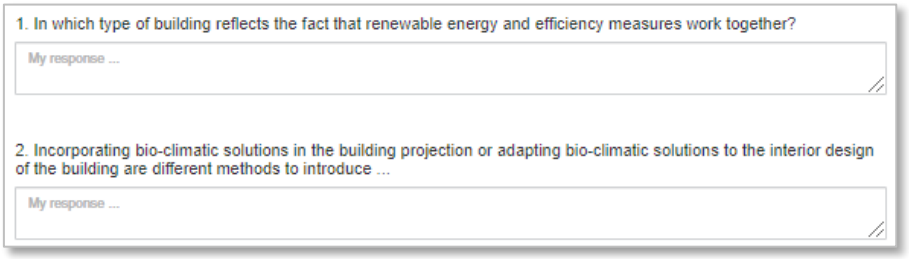


Fig. 8. Ejemplo de preguntas de respuesta corta CONDAP / *CONDAP short answer questions example*

Fuente 8 / *Source 8* openlearning.com/courses/condap-vooc

- Multiple answer questions. In the same way that occurs with figures, in this case quick exercises are proposed to check the knowledge acquired, visible in figure 9.

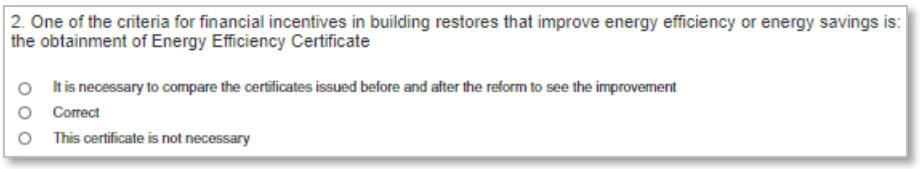


Fig. 9. Ejemplo de pregunta de respuesta múltiple CONDAP / *CONDAP Multyple answer question example*

Fuente 9 / *Source 9* openlearning.com/courses/condap-vooc.

Conclusion

Taking into account the lack of new professionals in the construction sector, the CONDAP project has carried out extensive research on the less present topics in the different academic fields, with the aim of laying the foundations to be able to promote and improve the teaching skills of construction site mentors and managers. Partners of the CONDAP project have finally carried out a vocational course open to the public to improve the teaching options of both mentors and trainers in the workplace, as well as apprentices and future professionals in the construction sector.

Acknowledgment

This work has been conducted within the framework of the CONDAP project "Digital skills for workplace mentors in construction sector apprenticeships" funded by the European Commission within the Key Action 2: Cooperation for innovation and the exchange of good practices, reference number 2018-1-UK01-KA202-048122.

Referencias / References

- Birkenbihl, M. (2008). Formación de formadores. Editorial Paraninfo.
- McLernon, T., & Hughes, D. (2004). Academic accreditation of work-based learning in the construction environment. Industry and Higher Education, 18(2), 111-120.
- Web 1. CONDAP Project. https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/projects/eplus-project-details/#project/2018-1-UK01-KA202-048122
- Web 2. EUROPEAN COMMISSION. The EU programme for education, training, youth and sport. <https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/node_es.

DESARROLLO DE MATERIAL DIDÁCTICO PARA LA FORMACIÓN DE PROFESIONALES DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA. PROYECTO UPWOOD

DEVELOPMENT OF TEACHING MATERIALS FOR THE TRAINING OF PROFESSIONALS IN THE WOOD CONSTRUCTION SECTOR. UPWOOD PROJECT

Javier Cárcel-Carrasco
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es
Elisa Peñalvo-López
Ph D. por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética de la UPV. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: elpealpe@upvnet.upv.es
Luis Palmero-Iglesias
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: lpalmero@csa.upv.es
José Ramón Albiol-Ibáñez
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: joalib1@csa.upv.es

Abstract

Lately, wood has become a more popular material within civil and architectural construction. Nevertheless, construction professionals still do not have the necessary means or practice to work in a building made of wood components. For this reason, since 2019 the UPWOOD project, which is co-funded by the European Commission, aims to provide a solution to this lack of training, by creating a training system, based on the VET work (Vocational Education and Training), to enhance the use of wood in the construction sector, based on a well-provided training.

In this work, the progress of the project during the last months is evidenced. During the last year, the project focused on creating some training material regarding wood in the construction sector which, once reviewed and validated, will be useful for training construction professionals.

Keywords: Wood construction; Training of professionals; Upwood; Efficient learning.

Resumen

Recientemente, la madera ha ido ganando cada vez más y más popularidad dentro del sector de la construcción civil y arquitectónica. Sin embargo, en muchos ámbitos los profesionales de la construcción aún no disponen de los medios ni de la práctica necesaria para realizar edificaciones realizadas con madera. Por esta razón, desde 2019 el proyecto UPWOOD, financiado por la Comisión Europea, pretende dar solución a esta falta de formación, mediante la creación de un sistema de aprendizaje basado en el trabajo VET (Vocational Education and Training), y fomentar de esta forma el uso de la madera en el sector de la construcción, a partir de una raíz formativa bien impartida.

En este trabajo se podrá ver reflejado el progreso del proyecto durante los últimos meses. A lo largo del pasado año, el proyecto se ha centrado en la creación del material académico sobre madera y del sector de la construcción que, una vez revisados y validados, podrán ser de utilidad para la formación de profesionales de la construcción.

Palabras clave: Construcción en Madera; Formación de profesionales; Upwood; Aprendizaje eficiente

Introducción

En los últimos años se ha profundizado en la importancia del sector de la construcción en cuanto a la contaminación global, dado que una parte muy importante de las emisiones de gases contaminantes, y partículas en suspensión tienen su origen en procesos destinados a la construcción civil y arquitectónica.

Teniendo en cuenta el protagonismo que ha recibido el hormigón en las últimas décadas, es inevitable concluir que la producción de este material sea el principal factor agravante de la cantidad de emisiones de CO_2 a la atmósfera [1, 2, 3]. Es por esta razón que la madera está ganando cada vez una mayor popularidad en el sector de la construcción, debido a su carácter respetuoso con el medio ambiente. De hecho, a la madera, como material constructivo, no solo se le deben atribuir unas pocas mejoras en cuanto a la sostenibilidad, pues posee unas magníficas propiedades constructivas en numerosos aspectos (estructurales, aislamiento, durabilidad…) [4, 5], especialmente a causa de las mejoras tecnológicas que se han producido a lo largo de siglos de experiencia en construcción con madera, que permiten combinar las técnicas más tradicionales de construcción con madera, junto con los sistemas más avanzados y novedosos para su aplicación, como se puede ver en los ejemplos de la figura 1.



Fig. 1. Técnicas constructivas de madera tradicionales (A), e innovadoras (B). /
Traditional (A) and innovative (B) constructive techniques.
Fuente 1. *Source 1.* (A): https://www.pikist.com/free-photo-svlpw ;
(B): http://engenheiromadeireiro.blogspot.com .

Por parte de las propiedades de la madera con respecto a la absorción de CO_2, en la figura 2 se puede apreciar la repercusión que este material tiene en el medio ambiente, comparado con otros materiales habituales del sector de la construcción.

En determinadas situaciones, existe una previsión de que en unos años la madera pueda convertirse en el material predominante del sector de la construcción, debido a la limpieza de la obtención del material que, al contrario de lo que se pueda considerar, fomenta la reforestación de masas arbóreas con nuevas especies, que tienen una mayor tasa de absorción de CO_2 de la atmósfera que los árboles maduros.

Sin embargo, la utilización de sistemas constructivos convencionales está tan extendida en el sector de la construcción actual, que las habilidades con el uso de la madera de los profesionales del sector de la construcción aún no están a la altura de las exigencias constructivas actuales. Esto provoca que se pueda apreciar una brecha notable entre las capacidades de los profesionales del sector de la construcción y las necesidades exigidas en los lugares de trabajo.

Por esta razón se creó en 2019 el proyecto UPWOOD, financiado por la UE, con el objetivo de mejorar las habilidades de construcción de los trabajadores y profesionales en carpintería y construcciones de madera, financiado por el programa Erasmus +. Este proyecto está siendo desarrollado conjuntamente entre cinco socios de países miembros de la Unión Europea.

Desde entonces, se ha desarrollado el proyecto, estableciendo inicialmente las bases y los conceptos que se pretenden adquirir una vez superada la formación. Durante los últimos meses de progreso, estas unidades didácticas para la formación de los profesionales se han desarrollado, y en este artículo se refleja parte del progreso de dichas unidades didácticas.

Introduction

In recent years, the importance of the construction sector in terms of global pollution has been deepened, given that most of the emissions of polluting gases and suspended particles have their origin in processes destined for civil and architectural construction.

Considering the prominence that concrete has received in recent decades, it is inevitable to conclude that the production of this material is the main factor aggravating the amount of CO2 emissions into the atmosphere [1, 2, 3]. This is the main reason for wood gaining more and more popularity in the construction sector, due to its environmentally friendly character. Wood, as a construction material, should not only be attributed a few improvements in terms of sustainability, as it has magnificent construction properties in many aspects (structural, insulation, durability ...) [4, 5], especially because of the technological improvements that have been produced over centuries of experience in timber construction, which allow the combination of most traditional techniques of construction with wood, together with the most advanced and innovative systems for its application, as can be seen at the examples in figure 1.

Regarding the properties of wood concerning the absorption of CO2, in figure 2 the impact that this material has on the environment can be seen, compared to other common materials found in the construction sector.

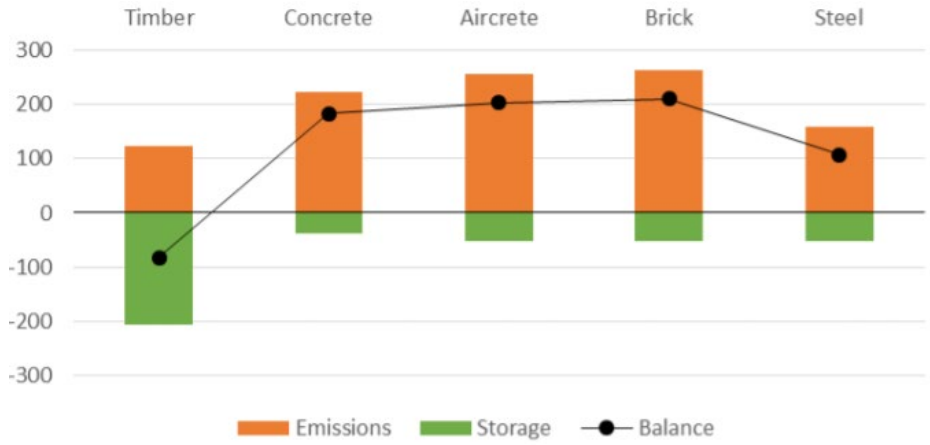


Fig. 2. Relación entre emisiones absorción de CO2, de los distintos materiales. */ CO2 emissions and carbon storage ratio, of different construction materials.*
Fuente 2. Elaboración propia / Source 2. Own elaboration

In certain situations, it is forecasted that in a few years wood may become the predominant material in the construction sector, due to the green nature of obtaining the material which, contrary to what may be considered, encourages the reforestation of tree stands with new species since those have a higher rate of absorption of CO2 from the atmosphere than mature trees.

However, the use of conventional constructive systems is so widespread in the current construction sector, that the skills with the use of wood of professionals in this field are not yet up to the current construction requirements. This induces a notable gap between the capacities of professionals in the construction sector and the requirements in the workplace.

For this reason, the UPWOOD project, funded by the EU, was created in 2019 aiming to improve the construction skills of workers and professionals in wood-working and wood construction, funded by the Erasmus + program. This project is being developed jointly by five partners from member countries of the European Union.

Since then, the project has been developed, initially establishing the foundations and concepts to be acquired by professionals once the training has been completed. During the last months of progress, these didactic units for the training of professionals have been developed, and this article reflects part of the progress of said didactic units.

Objetivos de aprendizaje esperados con UPWOOD.

UPWOOD forma una Asociación Estratégica para mejorar el aprendizaje basado en el trabajo de formación de profesionales, desarrollando y poniendo a disposición recursos educativos para abordar las necesidades de habilidades ocupacionales actuales y emergentes para prácticas innovadoras y eficientes energéticamente de construcción con madera.
A partir del desarrollo del material formativo para los profesionales, se ha establecido una serie de objetivos de aprendizaje que recoge los conceptos clave que los especialistas del sector deben haber obtenido una vez realizada la formación. Estos conceptos son los siguientes:

- **Objetivo 1: Desarrollar el conocimiento y comprensión de los diferentes tipos de madera y sus propiedades.** De esta forma, se podrá aplicar la especie más adecuada para cada situación.
- **Objetivo 2: Proporcionar una cuenta de las limitaciones que presenta la madera como material constructivo en determinadas situaciones.** De esta manera, se asegura que el tipo de madera empleado no se verá sobrepasado en cuanto a capacidades.
- **Objetivo 3: Comprender los beneficios de utilizar madera en diseños activos y pasivos de un edificio, en términos de eficiencia energética.** En este sentido, se podrá aplicar la faceta más eficiente y sostenible de la madera como material constructivo.
- **Objetivo 4: Evaluación de la influencia del clima en edificios de madera, con el objetivo de reducir el consumo energético.** Así, los edificios podrán diseñarse en base a un sistema mucho más eficiente, aprovechando las cualidades de la madera.
- **Objetivo 5: Dotar de autonomía para escoger la especie de madera o producto de madera que más se ajuste a las necesidades de proyecto.** De este modo, los profesionales podrán decidir con mayor criterio la especie de madera más adecuado para cada situación constructiva
- **Objetivo 6: Demostrar las propiedades de trabajar con productos prefabricados de construcción en madera.** Los productos prefabricados cuentan con propiedades verdaderamente ventajosas términos de construcción.
- **Objetivo 7: Dotar de autonomía para escoger la estructura de madera más adecuada.** En este sentido, los profesionales contarán con mayor confianza a la hora de escoger el sistema estructural más correcto y estable.
- **Objetivo 8: Evaluar el uso de madera en proyectos de renovación, extensión o deconstrucción.** A partir de las características sostenibles de la madera, se podrá arrojar luz sobre sus capacidades en situaciones de construcción adversas.
- **Objetivo 9: Ser capaz de organizar/priorizar tareas y colaborar con miembros de equipo.** De este modo, se garantiza que los profesionales puedan compatibilizar sus conocimientos con las cualidades con otros profesionales del mismo sector.
- **Objetivo 10: Comprender los procesos de protección frente al fuego/ruido y las físicas en la construcción.** Debido a que estas son las características que cuentan con mayores exigencias en los proyectos constructivos.
- **Objetivo 11: Ser capaz de integrar componentes técnicos en las construcciones de madera.** De esta forma, se podrá desarrollar con mayor fluidez el ensamblaje de piezas en el lugar de trabajo.

Una vez realizada dicha formación, si los profesionales han adquirido los conceptos recogidos en esta serie de objetivos, supone que ya cuenta con conocimientos mucho más extensos en cuanto a la construcción con madera y que, por tanto, estarían mucho más capacitados para poder aplicar sus cualidades a los distintos proyectos constructivos.

Expected learning objectives with UPWOOD.

UPWOOD forms a Strategic Partnership to enhance professional workers training work-based learning, developing and making available educational resources to address current and emerging occupational skills required for innovative and energy-efficient wood building practices.

Based on the development of training material for professionals, a set of learning objectives has been established which includes key concepts that specialists in the sector must have gained once the training has been completed. These concepts are as follows:

- **Objective 1: Develop knowledge and understanding of the different types of wood and their properties.** In this way, the most suitable species for each situation can be applied.
- **Objective 2: Give an account of the limitations that wood presents as a building material in certain situations.** In this way, it is ensured that the type of wood used will not be exceeded in terms of capacities.
- **Objective 3: Understand the benefits of using wood in active and passive designs of a building, in terms of energy efficiency.** In this sense, the most efficient and sustainable facet of wood as a construction material can be applied.
- **Objective 4: Evaluation of the climate influence in wooden buildings, in order to reduce energy consumption.** Thus, buildings can be designed based on a way more efficient system, taking advantage of the qualities of wood.
- **Objective 5: Autonomously select the most appropriate type of wood or wood building product (e.g. CLT) according to construction project requirements.** In this way, professionals will be able to decide with greater criteria the most suitable wood species for each construction situation
- **Objective 6: Demonstrate the skills to work with prefabricated wooden building products.** Precast products have truly advantageous properties in terms of construction.
- **Objective 7: Autonomously select the appropriate wooden structure.**
In this sense, professionals will have greater confidence when choosing the most correct and stable structural system.
- **Objective 8: Assess the use of wood in renovation, extension or deconstruction projects.** Based on the sustainable characteristics of wood, light can be shed on its capabilities in adverse construction situations.
- **Objective 9: Be able to organize/prioritize tasks and collaborate with team members.** In this way, it is guaranteed that professionals can secure their knowledge with their qualities with other professionals in the same sector.
- **Objective 10: Understand fire/sound protection and building physics in the construction process.** Because these are the characteristics that have the highest demands in construction projects.
- **Objective 11: Be able to integrate technical building components in timber construction.** In this way, the assembly of parts can be developed more smoothly in the workplace.

Once this training takes place, if the professionals have acquired the concepts contained in this series of objectives, it means that they already have much more extensive knowledge regarding construction with wood, so they would be much more qualified to apply their qualities to the different construction projects.

Unidades didácticas, material didáctico, y material de evaluación.

Teniendo en cuenta que el objetivo del proyecto es principalmente aportar una formación adicional a los profesionales del sector de la construcción, uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta es que el material formativo del que dispongan sea de la mayor calidad, y que recoja todos los conceptos y cuestiones necesarios para la obtención de conocimientos.

Por esta razón, de forma conjunta entre los distintos socios del proyecto, se han desarrollado cuatro unidades didácticas, que dotan de la formación necesaria para los objetivos de aprendizaje mencionados previamente, como se puede apreciar en la figura 3.



Fig. 3. Conceptos por interiorizar a partir del proyecto de formación. Unidades didácticas. */ Concepts to be obtained from the training project. Didactic units.*
Fuente 3. Elaboración propia / *Source 3. Own elaboration*

De esta forma, estas cuatro unidades didácticas pretenden recoger todos aspectos que los profesionales de la construcción deberían conocer acerca de la construcción con madera, tanto las cualidades en términos de sostenibilidad y eficiencia energética, como las especificaciones técnicas en cuanto a los sistemas de construcción y ensamblaje, así como la compatibilidad de los sistemas de construcción en madera con todos los demás elementos que formen parte del edificio (instalaciones, carpinterías, dotaciones, etc.)

Todo este material formativo viene recogido en diferentes formatos, con el objetivo de poder dotar de la mejor formación posible a los profesionales del sector de la construcción. Se trata esencialmente de apuntes que recojan todas las transparencias que deban asimilar y aprender los profesionales, junto con una serie materiales de asistencia que ayuden a los profesionales a profundizar y asimilar todo el material proporcionado con ejercicios y ejemplos prácticos.

El material de asistencia académica del que dispondrán los profesionales formados, así como los formadores, será el siguiente:

- **Apuntes específicos** que recojan todo el material formativo de forma muy detallada, con todas las exigencias y requisitos de la utilización de la madera. Se dispondrá de más de 150 páginas de apuntes, que aborden los tópicos más relevantes relacionados con la utilización de madera en el sector de la construcción. Un ejemplo de formato de los apuntes proporcionados se puede apreciar en la figura 4.

Learning units, learning material, and evaluation material.

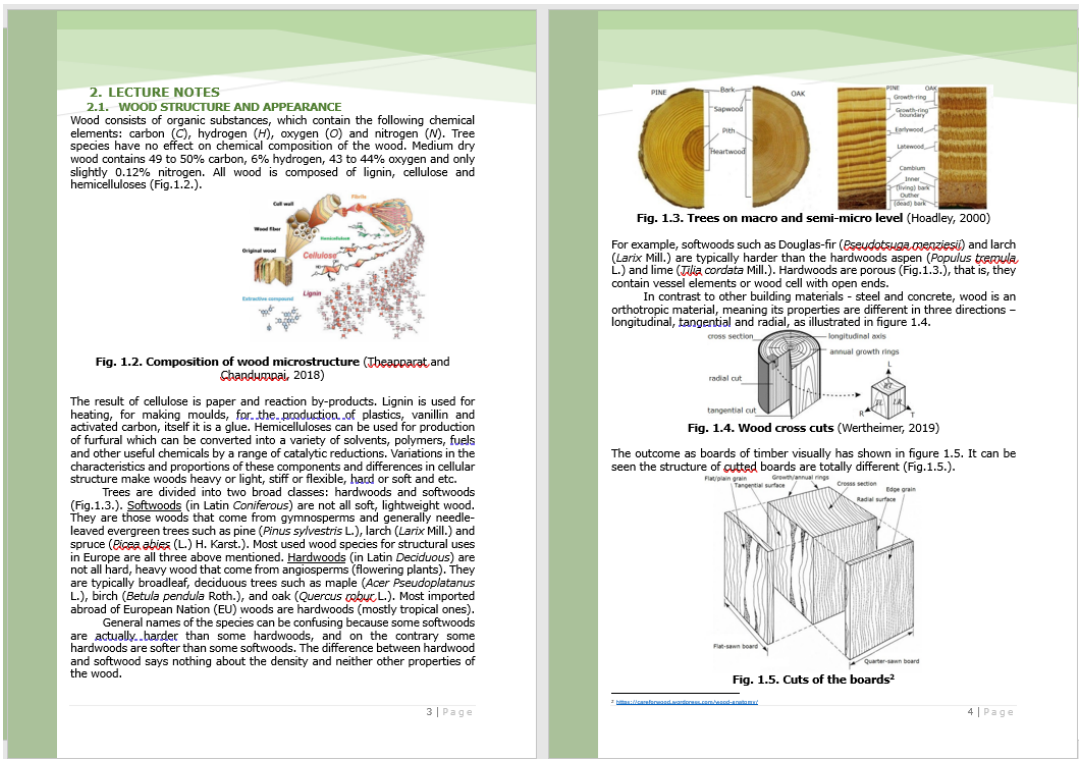
Considering that the objective of the project is mainly to provide additional training to professionals of construction sector, one of the most important topics to take into account the training material to be of the highest quality, collecting all the concepts and developments necessary to obtain knowledge.

For this reason, together with the different partners of the project, four didactic units have been developed, providing with the necessary training for the learning objectives mentioned above, as can be seen in figure 3.

In this way, these four didactic units aim to collect all aspects that construction professionals should know about construction with wood, both the qualities in terms of sustainability and energy efficiency, as well as the technical specifications regarding construction systems and assembly, as well as the compatibility of wood construction systems with all the other elements that are part of the building (installations, carpentry, endowments, etc.)

All this training material is collected in different formats, to provide the best possible training for professionals in the construction sector. These are essential notes that collect all the transparencies that professionals must assimilate and learn, along with a series of assistance materials that help professionals to deepen and assimilate all the material provided with exercises and practical examples.

- **Specific notes** that collect all the training material in a very detailed way, with every demand and requirement of the use of wood. There will be more than 150 pages of notes, which address the most relevant topics related to the use of wood in the construction sector. An example of the format of the provided notes can be seen in figure 4.



2. LECTURE NOTES

2.1. WOOD STRUCTURE AND APPEARANCE

Wood consists of organic substances, which contain the following chemical elements: carbon (*C*), hydrogen (*H*), oxygen (*O*) and nitrogen (*N*). Tree species have no effect on chemical composition of the wood. Medium dry wood contains 49 to 50% carbon, 6% hydrogen, 43 to 44% oxygen and only slightly 0.12% nitrogen. All wood is composed of lignin, cellulose and hemicelluloses (Fig.1.2.).

Fig. 1.2. Composition of wood microstructure (Theapparat and Chandumpai, 2018)

The result of cellulose is paper and reaction by-products. Lignin is used for heating, for making moulds, for the production of plastics, vanillin and activated carbon, itself it is a glue. Hemicelluloses can be used for production of furfural which can be converted into a variety of solvents, polymers, fuels and other useful chemicals by a range of catalytic reductions. Variations in the characteristics and proportions of these components and differences in cellular structure make woods heavy or light, stiff or flexible, hard or soft and etc.

Trees are divided into two broad classes: hardwoods and softwoods (Fig.1.3.). Softwoods (in Latin *Coniferous*) are not all soft, lightweight wood. They are those woods that come from gymnosperms and generally needle-leaved evergreen trees such as pine (*Pinus sylvestris* L.), larch (*Larix* Mill.) and spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.). Most used wood species for structural uses in Europe are all three above mentioned. Hardwoods (in Latin *Deciduous*) are not all hard, heavy wood that come from angiosperms (flowering plants). They are typically broadleaf, deciduous trees such as maple (*Acer Pseudoplatanus* L.), birch (*Betula pendula* Roth.), and oak (*Quercus robur* L.). Most imported abroad of European Nation (EU) woods are hardwoods (mostly tropical ones).

General names of the species can be confusing because some softwoods are actually harder than some hardwoods, and on the contrary some hardwoods are softer than some softwoods. The difference between hardwood and softwood says nothing about the density and neither other properties of the wood.

3 | Page

Fig. 1.3. Trees on macro and semi-micro level (Hoadley, 2000)

For example, softwoods such as Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) and larch (*Larix* Mill.) are typically harder than the hardwoods aspen (*Populus tremula*, L.) and lime (*Tilia cordata* Mill.). Hardwoods are porous (Fig.1.3.), that is, they contain vessel elements or wood cell with open ends.

In contrast to other building materials - steel and concrete, wood is an orthotropic material, meaning its properties are different in three directions – longitudinal, tangential and radial, as illustrated in figure 1.4.

Fig. 1.4. Wood cross cuts (Wertheimer, 2019)

The outcome as boards of timber visually has shown in figure 1.5. It can be seen the structure of cutted boards are totally different (Fig.1.5.).

Fig. 1.5. Cuts of the boards[2]

4 | Page

Fig. 4. Ejemplo de apuntes de *formación / Training notes example.*
Fuente 4. Elaboración propia / *Source 4. Own elaboration*

- **Presentaciones digitales,** que realizarán una síntesis global del material abordado en cada tópico de cada unidad didáctica. Se puede apreciar en la figura 5.

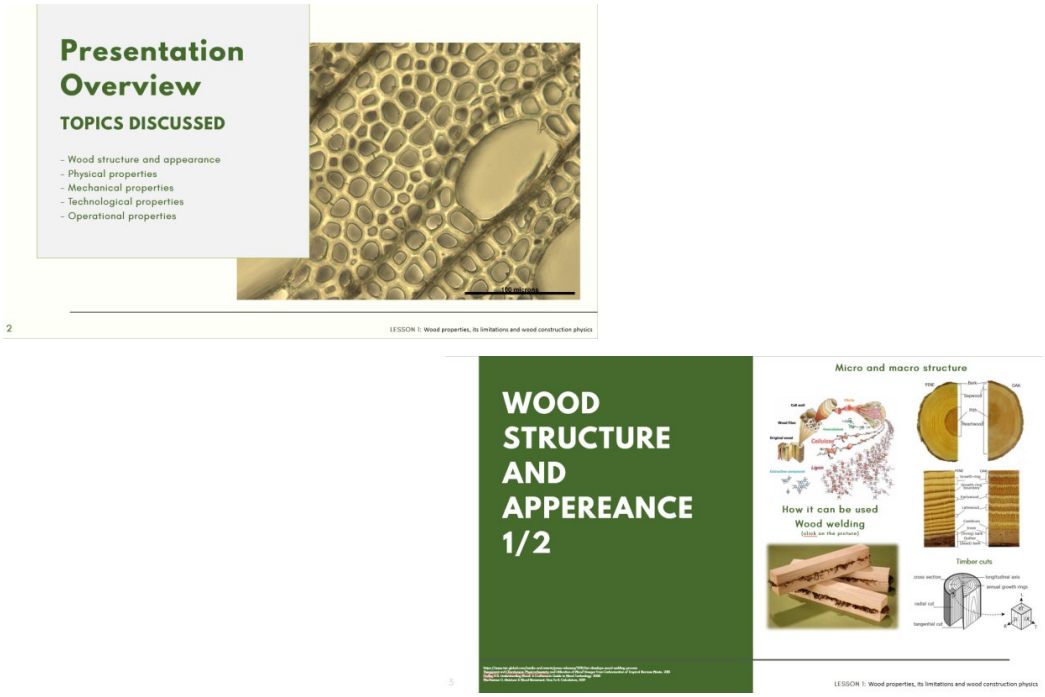


Fig. 5. Formato de presentaciones digitales desarrolladas por UPWOOD. / *Digital presentations shape format*
Fuente 5. Elaboración propia / *Source 5. Own elaboration*

- **Casos de estudio,** que ayudarán a los profesionales a afianzar los conocimientos obtenidos durante la formación, a partir de ejercicios prácticos en los que aplicarán los conceptos aprendidos. Un ejemplo se puede apreciar en la figura 6.
- **Preguntas frecuentes,** en formato de batería de preguntas, con sus correspondientes respuestas, que podrán ser consultadas por los profesionales durante la formación, con el propósito de aclarar las dudas y cuestiones que puedan derivar de la formación.
- **Preguntas de múltiple respuesta,** que ayudarán al equipo de formación a evaluar los conocimientos obtenidos por los profesionales en proceso de aprendizaje.

De esta forma, con este material, los profesionales serán capaces de abordar con seguridad las exigencias de construcción con madera que se encuentran en los emplazamientos constructivos.

Conclusiones

En conclusión, este proyecto pretende fomentar y mejorar las condiciones de las construcciones sostenibles en madera, mediante una formación adecuada de los profesionales del ámbito de la construcción. Para ello se está desarrollando el proyecto de forma activa, produciendo una gran cantidad de material formativo de calidad, solucione la falta de práctica y conocimiento del uso de la madera en el sector de la construcción.

Este material será de gran utilidad tanto para los profesionales formados como para los formadores, debido a que expone todos los conceptos necesarios para la utilización de la madera, y provee a los formadores de los medios necesarios para asegurar el aprendizaje de los profesionales, y su posterior evaluación.

Agradecimientos: Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del proyecto UPWOOD "Up-skilling construction workers in wood construction methods for energy efficient buildings" financiado por la Comisión Europea dentro de la Acción Clave 2: Cooperación para la innovación y el intercambio de buenas prácticas, número de referencia 2019-1-AT01-KA202-051488.

- **Digital presentations,** which will involve a global synthesis of the material covered in each topic of every didactic unit. The format of the presentations can be seen in figure 5.
- **Study cases,** which will provide support to professionals to consolidate the knowledge obtained during the training, from practical exercises in which they will have to apply the learned concepts. An example of a case study can be seen in figure 6.

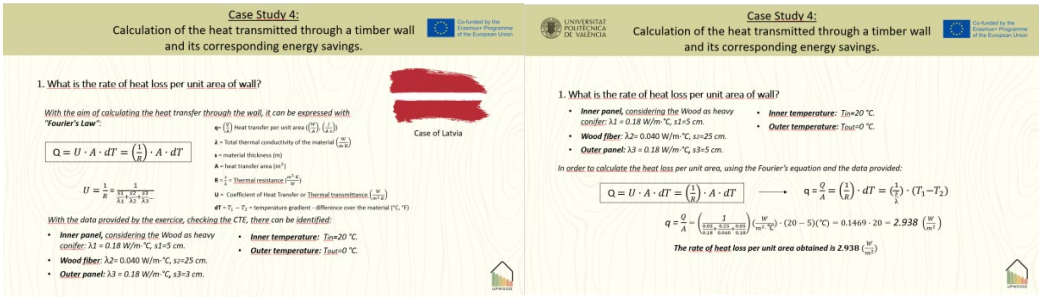


Fig. 6 Ejemplo de caso de estudio desarrollado por el proyecto UPWOOD / *Case study example.*
Fuente 6. Elaboración propia / *Source 6. Own elaboration*

- **Frequently asked questions**, with the shape of a battery of questions, with their corresponding answers, which may be consulted by professionals during their training, to clarify doubts and questions that may arise from the training.
- **Multiple choice questions,** which will help the training team to evaluate the obtained concepts from the learning professionals.

In this way, with all this material, professionals should be able to tackle firmly the adverse constructive requirements, regarding the use of wood, can be found in different construction sites.

Conclusions

In conclusion, this project aims to promote and improve the conditions of sustainable wooden buildings, through adequating training of professionals in the construction sector. For this, the project is being actively developed, producing a large amount of quality training material, and solving the lack of practice and knowledge of the use of wood that can be found within the construction sector.

This material will be very useful for both trained professionals and trainers, since it exposes all the necessary concepts for the use of wood, and provides the necessary means to ensure the learning of professionals to trainers, and their subsequent evaluation.

Acknowledgment: This work has been conducted within the framework of the UPWOOD project " Up-skilling construction workers in wood construction methods for energy efficient buildings " funded by the European Commission within the Key Action 2: Cooperation for innovation and the exchange of good practices, reference number 2019-1-AT01-KA202-051488.

Bibliografía / Bibliography

1. García, C. V. (2019). Contaminación ambiental. Avances, 21(2), 138-138.
2. de Villalonga, A. E. (1977). La industria del cemento dentro de la problemática de la contaminación atmosférica. *Materiales de Construcción*, *27*(166-167), 221-241.
3. Conesa, J. A. (2017). Contaminación derivada de la descomposición de residuos. El papel de la industria del cemento.
4. Oyarzún, F., Acevedo, K., & Fritz, D. (2011). Madera laminada. Arquitectura Ingeniería Construcción. Centro de Transferencia Tecnológica de la Madera: CORMA.
5. Bobadilla, E. A. (2004). Durabilidad natural de la madera de cinco especies aptas para la industria de la construcción.

EL MÉTODO DE LAS PÍLDORAS DE APRENDIZAJE PARA EL APRENDIZAJE DE ALUMNOS DEL ÁREA DE LA CONSTRUCCIÓN

THE METHOD OF LEARNING PILLS FOR LEARNING STUDENTS IN THE CONSTRUCTION AREA

Javier Cárcel-Carrasco
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es
Graziella Bernardo
Ph D. Universitá degli studi della Basilicata (Italia). Via Nazario Sauro 85 - 85100 Potenza (PZ), Italia. Email: graziella.bernardo@unibas.it
Luis Palmero-Iglesias
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: lpalmero@csa.upv.es
Carolina Aparicio-Fernández
Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: caap@csa.upv.es

Abstract

By defining Learning Styles as the strategies by which information is processed in your learning process, these styles vary with training, age, subjects, level of success, culture, and gender, which can be modified. Therefore, teachers should show interest in discovering the style of the type students to which the teaching is dedicated and adapt it to the characteristics of each situation. Taking into account these characteristics, this work shows the experiences made through the concepts of learning pills (or basic concepts), as a way of positioning knowledge to structure an official master's degree in Architecture and Building, in the first teaching hours of the beginning of these subjects and the vision and to improve students' vision and perception

Keywords: *Learning style; postgraduate training; building engineers, architects, learning pills*.

Resumen

Definiendo los Estilos de Aprendizaje como las estrategias por las cuales se procesa la información en su proceso de aprendizaje, dichos estilos varían con la formación, edad, las materias, el nivel de éxito, la cultura y el género, que pueden ser modificados. Por ello, los docentes deben mostrar interés por descubrir el estilo del alumnado tipo al que va dedicada la enseñanza y adaptarlo a las características de cada situación. Teniendo en cuenta dichas características, en este trabajo, se muestran las experiencias realizadas mediante los conceptos de píldoras de aprendizaje (o conceptos básicos), como forma de posicionar conocimientos para estructurar una asignatura de máster oficial en Arquitectura y Edificación, en las primeras horas docentes de comienzo de dichas asignaturas y para mejorar la visión y percepción de los estudiantes.

Palabras clave: *Estilo de aprendizaje; formación postgrado; ingenieros edificación, Arquitectos, píldoras de aprendizaje*

Introducción

Existen diferentes teorías sobre estilos de aprendizaje (Alonso et al., 1994; 1999; 2005) que explican porqué cada persona puede aprender de diferente manera afectando a su rendimiento, para lo cual es necesario investigar y analizar los estilos de aprendizaje que comporten diferentes herramientas para la enseñanza que actúen con mayor eficiencia según los estilos.

Los estudios realizados han determinado cuatro estilos predominantes, el estilo activo, el reflexivo, el teórico y el pragmático. Una de las mejores definiciones fue realizada en los estudios de Alonso (Alonso et al., 1999):

- Activo. Se caracteriza por personas abiertas, entusiastas, que se lanzan hacia las nuevas experiencias.
- Reflexivo. Son individuos observadores y analíticos.
- Teórico. Tienen pensamiento lógico e integran sus observaciones dentro de teorías lógicas y complejas.
- Pragmático. Son personas muy basadas en su experiencia que intentan poner en práctica las ideas.

En un estudio realizado entre estudiantes de máster de arquitectura y edificación (Cárcel et al., 2016), se evidencia la tendencia particular por los estilos de aprendizaje reflexivo y teórico, aunque con poca diferencia entre ellos. Una estrategia para mejorar el aprendizaje entre estetipo de alumnos, podría ser el uso de píldoras de aprendizaje para afianzar y reforzarconocimiento y la inquietud por aprender del alumno.

Pueden considerarse las píldoras de aprendizaje como pequeñas piezas de material didáctico, formadas como objetos de aprendizaje de contenido audiovisual (Gallardo, 2015), diseñadas para sintetizar contenidos fundamentales de la asignatura, complementando las estrategias tradicionales de formación y facilitar la comprensión de algunos aspectos de la asignatura que presentan una mayor dificultad de comprensión para los estudiantes (Bengochea, 2011; Juanes et al., 2012; Maceiras et al, 2010). En estudios realizados, como el de Bengochea (Bengoechea 2011), constituyen un recurso de aprendizaje con gran atractivo para los jóvenes estudiantes, familiarizados con el formato audiovisual, similar al utilizado en YouTube.

En este trabajo se estudia la percepción por parte de alumnos de máster de arquitectura y edificación, del uso de píldoras de aprendizaje en formato audiovisual, así como pequeñas capsulas realizadas in-situ por el profesor al comienzo de un área temática dentro del temario de una asignatura. Para ello se realizaron diferentes entrevistas al alumnado involucrado, para poder establecer el grado de aceptación y motivación.

Los resultados presentados en el estudio de Cárcel (Cárcel et al., 2016; Cárcel et al., 2014a; 2014b) permitieron caracterizar el perfil de aprendizaje de los titulados en ingeniería de la edificación para la muestra analizada de 125 personas. En la gráfica 1 y 2 se muestran los valores obtenidos, posicionándose en los ejes polares de cada tendencia para visionarlo de una manera gráfica, indicando que el predominante es un estilo reflexivo y teórico.

En el estilo predominante reflexivo, se trata de personas analíticas. Prefieren pensar detenidamente sobre el objeto de estudio y trabajar solos. Aumentan la comprensión en pasos lineales, pueden no entender el material, pero logran conectar lógicamente sus partes.

En el estilo teórico, se trata de personas metódicas y con criterios objetivos, con un profundo sentido crítico, metódico y disciplinado, que abordan los problemas desde un punto de vista lógico. Prefieren las actividades estructuradas que les permitan comprender sistemas complejos.

Estas características definidas pueden ayudar a los docentes de estos titulados ante estudios post-grado a definir los modelos de enseñanza a aplicar a este tipo de estudiantes de arquitectura y edificación.

Introduction

There are different theories about learning styles (Alonso et al., 1994; 1999; 2005) that explain why each person can learn differently affecting their performance, for which it is necessary to research and analyze the learning styles that provide different teaching tools that act more efficiently according to the styles.

Studies have determined four predominant styles, active style, reflexive, theoretical and pragmatic. One of the best definitions was made in Alonso's studies (Alonso et al., 1999):

- Active. It is characterized by open, enthusiastic people who launch themselves into new experiences.
- Reflective. They are observant and analytical individuals.
- Theoretical. They have logical thinking and integrate their observations into logical and complex theories.
- Pragmatic. They are people based on their experience who try to implement ideas.

A study of master's students in architecture and building (Cárcel et al., 2016) shows the particular trend for reflective and theoretical learning styles, although with little difference between them. One strategy to improve learning among these types of students could be the useof learning tools to strengthen and reinforce knowledge and concern to learn from thestudent.

Learning pills can be considered as small pieces of teaching material, formed as learning objects of audiovisual content (Gallardo, 2015), designed to synthesize fundamental contents of the subject, complementing traditional training strategies, and facilitating the understanding of some aspects of the subject that present a greater difficulty of understanding for students (Bengochea, 2011; Juanes et al., 2012; Maceiras et al, 2010). In studies, such as Bengochea (Bengoechea 2011), they are a learning resource with great appeal to young students, familiar with the audiovisual format, similar to that used on YouTube.

This work studies the perception by master's students of architecture and building, of the useof learning pill s in audiovisual format, as well as small capsules made on-site by the teacher at the beginning of a thematic area within the subject of a subject. For this purpose, different interviews were conducted with the students involved, in order to establish the degree of acceptance and motivation.

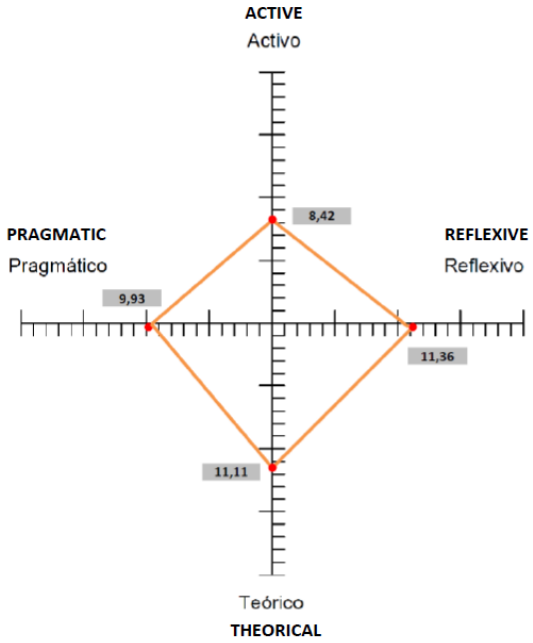
The results presented in the prison study (Cárcel et al., 2016; Cárcel et al., 2014a; 2014b) allowed to characterize the learning profile of graduates in building engineering for the analyzed sample of 125 people. Graph 1 and2 show the values obtained, positioning themselves on the polar axes of each trend to view it in a graphical way, indicating that the predominant one is a reflective and theoretical style.

In the predominantly reflective style, these are analytical people. They prefer to think carefully about the object of study and work alone. They increase understanding in linear steps, they may not understand the material, but they manage to logically connect their parts.

In the theoretical style, these are methodical people with objective criteria, with a deep critical, methodical and disciplined sense, who address problems from a logical point of view. They prefer structured activities that allow them to understand complex systems.

These defined characteristics can help teachers of these graduates to define the teaching models to apply to this type of architecture and building students.

.



Graph 1: Polar chart with absolute means of learning styles

Una Buena herramienta para la formación de este tipo de estudiantes sería mediante la utilización de píldoras de aprendizaje. Mediante esta herramienta, intentamos introducir al estudiante en una materia, afianzamos conceptos y abrimos la capacidad del alumno a entrar en temas más complejos. Una Píldora de aprendizaje o conocimiento es una unidad de conocimiento empaquetado en formato multimedia y puesto a disposición para todo el mundo que lo necesite, aunque en este caso también llamamos así a la realizada por el profesor antes del comienzo de un material que necesite numerosas horas de docencia.

Píldoras de aprendizaje

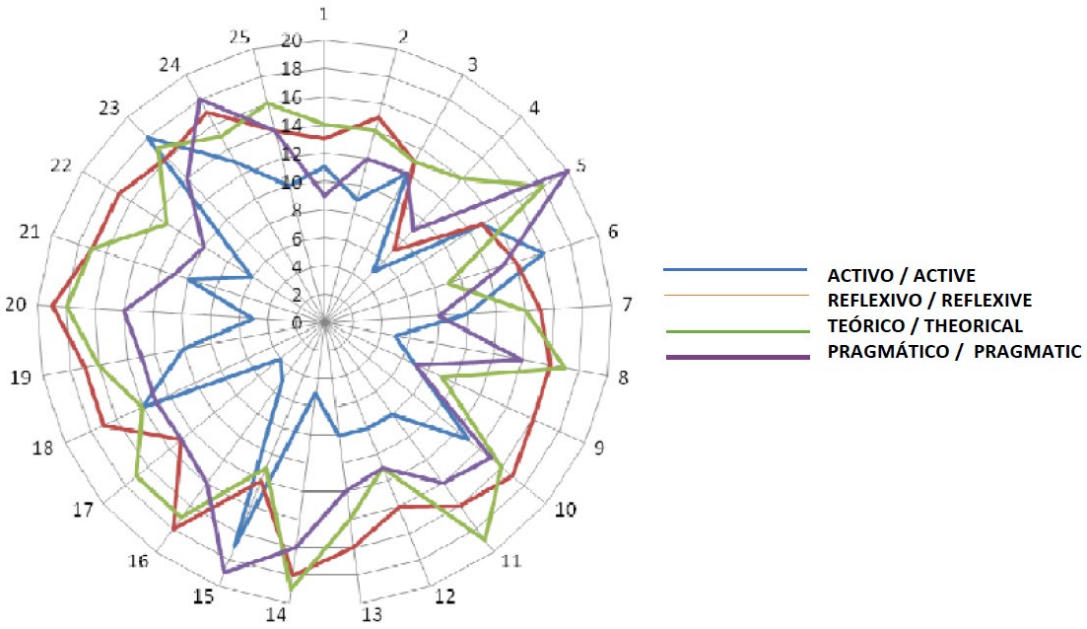
La idea de las píldoras de aprendizaje es que su contenido puede ser utilizado y reutilizado desde un sistema de gestión de contenidos, como pueden ser los polimedias de la UniversitatPolitècnica de València (España), donde usualmente en esos videos de aprendizaje está la presencia de la imagen del docente. El tiempo que se considera apropiado para que un usuario comprenda un concepto, suele ser entre los 5 y los 10 minutos. Este material es útil tanto para ayudar a comprender en profundidad un problema (aprendizaje), y para aplicar el conocimiento a la resolución de nuevos problemas (habilidades) (Bengochea et al., 2012).

El sistema polimedia es un sistema diseñado en la UniversitatPolitècnica de València (España) en el año 2007, para la creación de contenidos multimedia para la educación presencial (semipresencial), a distancia y/o virtual, que abarca desde la preparación del material docente hasta su distribución a través de distintos medios al publico o estudiantes objetivo (ICE, 2007; UPV, 2015).

La Píldora de Conocimiento es una pequeña unidad de conocimiento explicito en un formato multimedia para ser utilizado desde la perspectiva formativa del “just-in-time”.

Para que cumplan su misión, las píldoras de aprendizaje deben tener las siguientes características (Carrera, 2012):

- ser accesible para aquellos a los que se destina,
- ser accesible en el momento y lugar que sea.



Graph 2: Polar chart with absolute means of learning styles

A good tool for training such students would be by using learning pills. Through this tool, we try to introduce the student to a subject, strengthen concepts and open the student's ability to enter into more complex topics. A Learning or Knowledge Pill is a unit of knowledge packaged in multimedia format and made available to everyone who needs it, although in this case we also call it the one made by the teacher before the start of a material that needs numerous hours of teaching.

Learning pills

The idea of learning pills is that their content can be used and reused from a content management system, such as the polymedias of the Universitat Politècnica de Valencia (Spain), where usually in those learning videos is the presence of the teacher's image. The time that is considered appropriate for a user to understand a concept is usually between 5 and 10 minutes. This material is useful both to help you fully understand a problem (learning), and to apply knowledge to solving new problems (skills) (Bengochea et al., 2012).

The polymedia system is a system designed at the Universitat Politècnica de Valencia (Spain) in 2007, for the creation of multimedia content for face-to-face (semi-presential), remote and/or virtual education, ranging from the preparation of teaching material to its distribution through different means to the public or target students (ICE, 2007; UPV, 2015).

The Knowledge Pill is a small unit of explicit knowledge in a multimedia format to be used from the formative perspective of "just-in-time".

For them to fulfill their mission, the learning pills must have the following characteristics (Carrera, 2012):

- accessible to those to whom it is intended,
- be accessible whenever and wherever.

Elementos clave de las píldoras aprendizaje

Una Píldora de aprendizaje es una unidad de conocimiento en formato multimedia y puesto a disposición para todo el mundo que lo necesite; con algunos elementos clave que deben ser respetados (Carrera, 2012):

- el uso del formato multimedia,
- simplicidad, facilidad de crear y de distribuir,
- ser concisa y breve,
- el profesor que tiene el conocimiento,debería estar directamenteinvolucrado,

Hay varios posibles formatos para las Píldoras del conocimiento:

- audio,
- video,
- presentación multimedia.

La elección de un formato dependerá siempre de:

- los objetivos del aprendizaje,
- el perfil de los alumnos o participantes,
- el momento en el cual los alumnos están más dispuestos a usar las Píldoras del Conocimiento,
- el equipo disponible para el uso de las Píldoras del Conocimiento.

El típico contenido de una Píldora del Conocimiento está compuesto por las siguientes partes (Carrera, 2012):

- título ‐ un titulo que deberá claramente identificar el objetivo de la Píldora del Conocimiento de modo que quien lo lea entienda inmediatamente si este es el contenido de lo que se necesita,
- una pregunta - una pregunta para responder que se puede introducir por vía oral o en forma escrita, y en algunos formatos es conveniente presentar bajo las dos formas,
- una respuesta ‐ la persona que tiene el conocimiento responde a la cuestión consultada en una forma clara, directa y breve,
- una lista de créditos ‐ se cita aquí la información relevante sobre quien produjo y apoyo la creación de la píldora del Conocimiento,
- palabras clave que permitirán una mejor búsqueda de este tipo de contenido multimedia.

En la figura 1 se muestran diferentes imágenes de polimedias grabados para utilización como píldoras de conocimiento entre alumnos del máster de arquitectura. De igual manera se pueden seleccionar otros materiales seleccionados por el profesor en otras aplicaciones como por ejemplo de Youtube (figura 2).

Key elements of learning pills

A Learning Pill is a unit of knowledge in multimedia format and made available to everyone who needs it; with some key elements that need to be respected (Carrera, 2012):

- the use of multimedia format,
- simplicity, ease of creating and distributing,
- be concise and brief,
- the teacher who has the knowledge, should be directly involved,

There are several possible formats for Knowledge Pills:

- Audio
- Video
- multi-medi presentation.

The choice of a format will always depend on:

- the objectives of learning,
- the profile of students or participants,
- the time when students are more willing to use knowledge pills,
- the equipment available for the use of Knowledge Pills.

The typical content of a Knowledge Pill is composed of the following parts (Carrera, 2012):

- title – a title that must clearly identify the purpose of the Knowledge Pill so that the person who reads it immediately understands whether this is the content of what is needed,
- a question - a question to answer that can be entered orally or in written form, and in some formats it is convenient to present in both forms,
- an answer – the person with the knowledge answers the question consulted in a clear, direct and brief way,
- a list of credits – relevant information about who produced and support the creation of the Knowledge Pill is cited here,
- keywords that will allow a better search for this type of multimedia content.

Figure 1 shows different images of polymedias engraved for use as knowledge pills among students of the Master of Architecture. Similarly you can select other materials selected by the teacher in other applications such as Youtube (Figure 2).

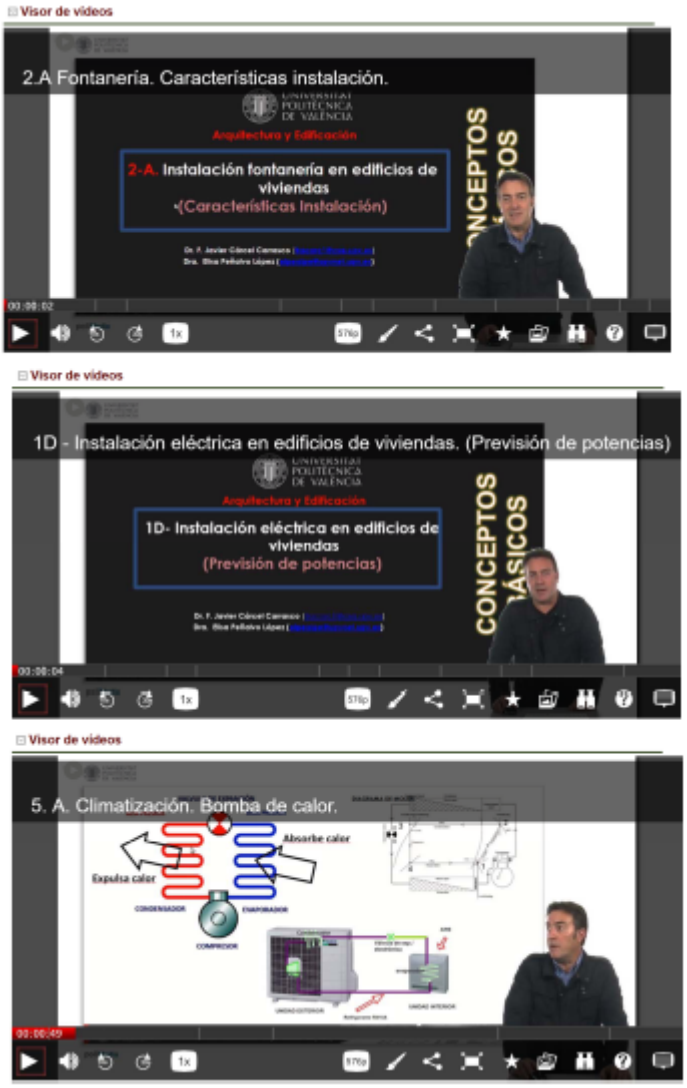


Fig. 1. Examples of knowledge pills through the P oliMedia UPV system

Conclusiones

Las píldoras de aprendizaje que abordan conceptos básicos e importantes, pueden mejorar la calidad del aprendizaje dado que contribuyen a que los estudiantes no pasen por alto esos conceptos que utilizarán en el futuro a nivel profesional. La ventaja de las píldoras de conocimiento es que los estudiantes pueden disponer de ella siempre que lo necesiten y en cualquier momento y lugar. Con los PoliMediase consiguen hacer píldoras de aprendizaje por parte del profesor de una manera sencilla, aunque la preparación puede llevar tiempo por parte del profesor para intentar sintetizar de una manera simple un problema complejo aunque sea de una manera básica u aproximada.

Los estudiantes de máster en material de arquitectura y edificación, al tener de una manera significativa un estilo de aprendizaje predominante como reflexivo, aceptan de una manera positiva el disponer de recursos formativos en línea para avanzar y afianzar conceptos en el momento de estudio de la asignatura, y con posterioridad cuando quieran recordar conceptos importantes.

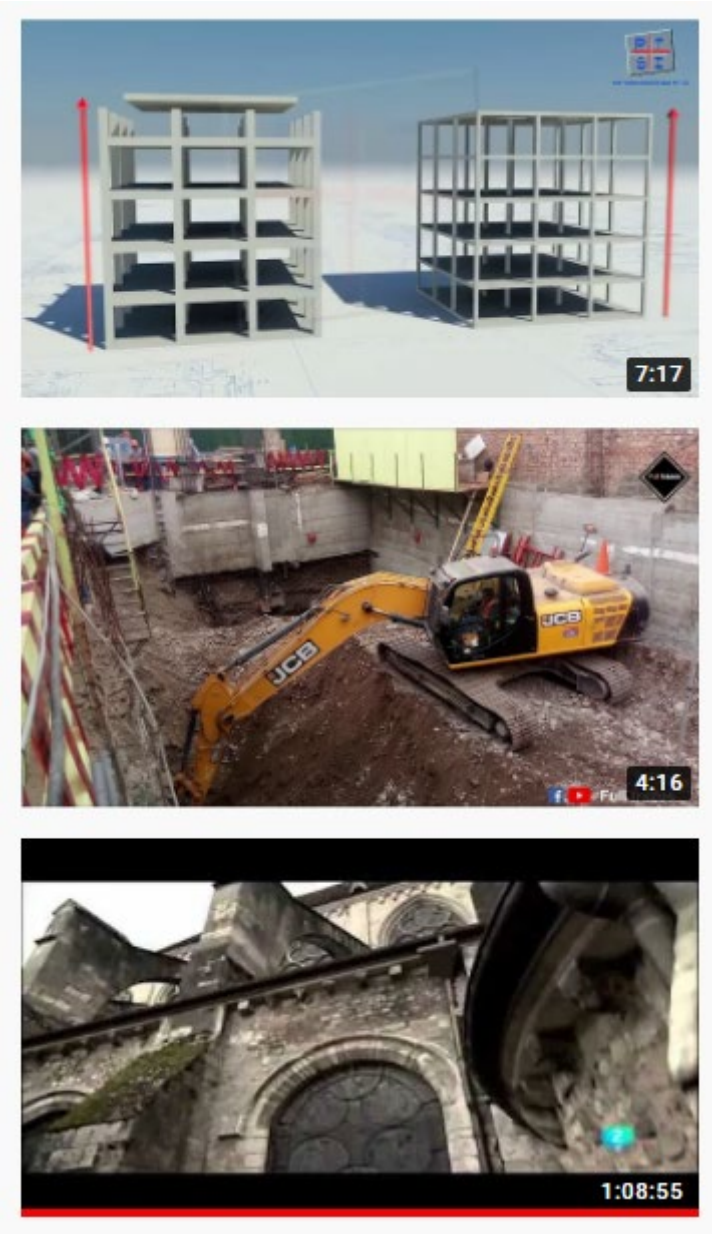


Fig. 2. Examples of selected videos from other platforms (youtube)

Conclusions

Learning pills that address basic and important concepts can improve the quality of learning by helping students not overlook those concepts they will use in the future at the professional level. The advantage of knowledge pills is that students can dispose of it whenever they need it and anytime, anywhere. PolyMedia makes it easy for the teacher to make learning pills, although preparation can take time on the part of the teacher to try to synthesize in a simple way a complex problem even in a basic or approximate way.

Master's students in architectural and building material, having in a meaningful way a predominant and reflective style of learning, accept in a positive way the having of online training resources to advance and strengthen concepts at the time of study of the subject, and later when they want to remember important concepts.

Bibliografía / **Bibliography**

Alonso, C.M.; Gallego, D. y Honey, P. (2005). Los estilos de aprendizaje: Procedimientos de diagnóstico y mejora. Bilbao: Ediciones Mensajero. 6ª edición.

Alonso, C.M.; Gallego, D. y Honey, P. (1999). Los estilos de aprendizaje. Procedimientos de Diagnóstico y Mejora. Bilbao: Mensajero.

Alonso, C.M.; Gallego, D.J. y Honey, P. (1994). Los estilos de aprendizaje: Qué son. Cómo diagnosticarlos. Cómo mejorar el propio estilo de aprendizaje. Bilbao: Editorial Mensajero.

Bahamón, J. (2006). El aprendizaje individual permanente: ¿Cómo lograr el desarrollo de esta capacidad de los estudiantes? Cartilla docente, publicaciones del CREA Universidad ICESI.

Bengochea Martínez, L. (2011). Píldoras formativas audiovisuales para el aprendizaje de programación avanzada. Comunicación presentada en las Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática - JENUI 2011 (pp. 257–263). Sevilla: Asociación de Enseñantes Universitarios de la Informática (AENUI). Disponible en http://hdl.handle.net/2099/11989.

Bengochea, L., &Budia, F. (2012). Subtitled video tutorials, an accessible teaching material. JACCES - Journal of Accessibility and Design for All, 2(2), 155–164.

Carcel, J; Peñalvo, E. (2016). Construction site managers learning requirements . 4th International Conference on Innovation, Documentation and TeachingTechnologies (INNODOCT 2016). Lean education and innovation. Valencia, Octubre 2016. pp. 313 – 323.

Cárcel Carrasco, F. J.. Roldán Porta, C. (2013). Principios básicos de la Gestión del Conocimiento y su aplicación a la empresa industrial en sus actividades tácticas de mantenimiento y explotación operativa: Un estudio cualitativo. Intangible capital, 9(1), 91-125.

Cárcel Carrasco, F. J., Rodríguez-Méndez, M., Solar, D. A., & Peñalvo-López, E. (2014a). El estilo de aprendizaje de los egresados en ingenieria de edificación. In Strategies for education in a new context: INNODOCT'14: International Conference on Innovation, Documentation and Teaching Technologies, held on-line in Valencia, Spain, on 8-9 May, 2014. https://riunet. upv. es/handle/10251/40350. (pp. 640-651). Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.

Cárcel Carrasco, F. J., Rodríguez-Méndez, M. (2014b). The style of learning based on the experience of building engineers. 3C Empresa (Vol. 3, No. 2, pp. 69-83). Área de Innovación y Desarrollo, SL.

Carrera, F. (Dir.) (2012). Metodología de las píldoras de conocimiento: Manual del mediador de conocimiento. EuropeanCommission: FundacjaObserwatoriumZarządzania; Prestin – Preparação de Estudos e Investimentos, Lda.; ZEUS Consulting S.A.; Instituto Tecnológico de Aragón; and Nowoczesna Firma S.A.

Gallardo Echenique, E. (2015). Aplicación de “píldoras de conocimiento” a través del sistema de poliMedia en el ámbito educativo. XVIII Congreso Internacional Edutec 2015: Educación y tecnología desde una visión transformadora, organizado por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. Se llevó a cabo los días 17, 18, 19 y 20 de noviembre del 2015.

Gravini, M. (2007). Teoría e investigación de los estilos de aprendizaje. En revista electrónica Diálogos educativos. Año 7, 13, 32-43.

Instituto de Ciencias de la Educación (ICE). (2007). Plan de acciones para la convergencia europea (PACE): “Los objetos de aprendizaje como recurso para la docencia universitaria: criterios para su elaboración.” Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Juanes Méndez, J. A., Prats Galino, A., Álvarez Garrote, H., García Riaza, B., & Rodríguez Conde, M. J. (2012). Técnicas de borrado digital para la creación de sets virtuales de aprendizaje. CIDUI’sJournal. Disponible en http://www.cidui.org/revistacidui/index.php/cidui/article/view/125

Maceiras, R., Cancela, Á., &Goyanes, V. (2010). Aplicación de Nuevas Tecnologías en la Docencia Universitaria. Formación Universitaria, 3(1), 21–26. doi:10.4067/S0718-50062010000100004

UniversitatPolitècnica de València (UPV). (2015). Servicios Multimedia: poliMedia. Disponible en https://www.upv.es/entidades/ASIC/catalogo/522359normalc.html