POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Metodología para la evaluación energética de la estación de evaporación de ingenios azucareros / Methodology for the energy evaluation of the sugar mill evaporation station

Original
Metodología para la evaluación energética de la estación de evaporación de ingenios azucareros / Methodology for the energy evaluation of the sugar mill evaporation station / Gutiérrez-Benítez, O., Hernández-Fundora, H.R., Castro RodrIguez, D.J.. - In: TECNOLOGÍA QUÍMICA. - ISSN 2224-6185. - 43:2(2023), pp. 255-274.

Availability:
This version is available at: 11583/2981677 since: 2023-09-05T13:22:33Z

Publisher:
Universidad de Oriente

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)

09 October 2026

Metodología para la evaluación energética de la estación de evaporación de ingenios azucareros

Methodology for the energy evaluation of the sugar mill evaporation station

Omar Gutiérrez-Benítez[1*] https://orcid.org/0000-0002-3644-6245
Henry Rafael Hernández-Fundora[1] https://orcid.org/0000-0002-2681-4278
David Javier Castro-Rodríguez[2] https://orcid.org/0000-0002-7609-3229

[1] universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, Departamento de Química, Cienfuegos, Cuba
[2]Politecnico di Torino (POLITO). Dipartimento Scienza Applicata e Tecnologia (DISAT). Torino, Italia

* Autor para la correspondencia. Correo electrónico: omargutierrez64@gmail.com

RESUMEN

La estación de evaporación constituye el centro del balance energético de los ingenios azucareros. El objetivo fue proponer una metodología para la evaluación energética de la estación de evaporación que complemente los métodos para la gestión de la energía en los ingenios azucareros; en correspondencia con el sistema de gestión de la energía (SGEn) basado en la norma ISO 50001 y sus normas complementarias. La metodología se estructuró según el ciclo PHVA de Mejora Continua (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar), proceso recurrente para mejorar el desempeño energético. Esta tiene en cuenta los aportes y supera limitaciones de las metodologías existentes. Incorpora métodos y criterios para

desarrollar una revisión energética; pondera la incidencia del diseño, construcción y operación de la estación de evaporación sobre la eficiencia energética; y enfatiza en la sinergia entre los métodos de análisis energético, exergético, de integración de procesos (Análisis del Pellizco). Constituye una contribución metodológica que robustece la revisión energética de la estación de evaporación, permitiendo el análisis exhaustivo del problema y la pertinencia de las mejoras para incrementar la eficiencia energética; y complementa los métodos existentes para la gestión de la energía en los ingenios azucareros.
Palabras clave: ingenio azucarero; estación de evaporación; revisión energética; eficiencia energética; análisis energético, análisis exergético; análisis del pellizco.

ABSTRACT

The evaporation station is at the center of the energy balance of sugar mills. The objective was to propose a methodology for the energy evaluation of the evaporation station that complements the methods for energy management in sugar mills; in correspondence with the energy management system (EnMS) based on the ISO 50001 standard and its complementary standards. The methodology was structured according to the PDCA cycle of Continuous Improvement (Plan-Do-Check-Act), a recurrent process to improve energy performance. The methodology takes into account the contributions and overcomes limitations of existing methodologies. It incorporates methods and criteria for developing an energy review; considers the impact of evaporation station design, construction and operation on energy efficiency; and emphasises the synergy between the methods of energy analysis, exergy analysis, process integration (Pinch Analysis). It constitutes a methodological contribution that strengthens the energy review of the evaporation station, allowing the exhaustive analysis of the problem and the relevance of improvements to increase energy efficiency; and complements existing methods for energy management in sugar mills.
Keywords: sugar mill; evaporation station; energy review; energy efficiency;

energy analysis; exergy analysis; pinch analysis.

Recibido: 15/01/2023

Aceptado: 18/04/2023

Introducción

Mejorar la eficiencia energética y facilitar el acceso a la investigación sobre las fuentes renovables y la eficiencia energética son metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, [1] y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Cuba.[2]

En este contexto, la agroindustria azucarera y sus derivados en Cuba es un sector estratégico para la implementación de la Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía 2014 – 2030 [3, 4], de los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2021-2026 (PCC, 2021) [5], y del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030 (PNDES 2030).[6] Se demanda elevar la eficiencia industrial y energética, y contribuir a la transformación de la matriz energética del país.

El sistema termoenergético empleado en los ingenios azucareros resulta más eficiente que el utilizado en las plantas térmicas para la generación de electricidad, ya que se logra producir energía térmica y energía eléctrica (cogeneración). Referido al ciclo total de energía, a partir de la energía química liberada por el bagazo en su combustión en las calderas, las mayores pérdidas se localizan en los gases de combustión y en la condensación al vacío de vapores del proceso tecnológico. Lo anterior explica que los mayores esfuerzos en la búsqueda de mayor eficiencia energética en la industria azucarera se hayan desarrollado hacia el incremento de la eficiencia de las calderas de vapor, y al

mejoramiento de los esquemas de utilización del vapor en el proceso tecnológico; fundamentalmente la estación de evaporación.[7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]

La estación de evaporación constituye el centro del balance energético de los ingenios azucareros. Su diseño, construcción, operación, limpieza y mantenimiento están estrechamente vinculadas a la eficiencia energética del ingenio.[11]

Establecer sistemas y procesos para mejorar continuamente el desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, el uso y el consumo de energía es objetivo de la implementación de la norma ISO 50001.[14]

En la industria azucarera cubana y foránea se han implementado, con diferentes alcances, aportes y limitaciones, procedimientos y metodologías técnicas para estudios energéticos. La mayoría de ellas han sido usadas para realizar el balance termoenergético del ingenio azucarero [8, 15, 16, 17,18, 19, 20, 21, 22, 23], mientras que han sido pocas las que han incorporado métodos de análisis exergético y de integración de procesos.[24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32]

Actualmente existe una insuficiente aplicación de los métodos y criterios tradicionales y avanzados de la revisión energética, en correspondencia con el sistema de gestión de la energía (SGEn) basado en la norma ISO 50001 y sus normas complementarias [14, 33, 34]; lo que limita monitoreo exhaustivo del desempeño energético de las estaciones de evaporación de ingenios azucareros, incluyendo la eficiencia energética, el uso y el consumo de energía. En los estudios de esta área del proceso azucarero ha predominado el análisis energético convencional basado en los procedimientos de evaluación y los métodos de cálculos rigurosos propuestos por otros autores [7 8, 10,13]; mientras que los métodos de análisis exergético y de integración de procesos (Análisis del Pellizco) han sido menos aplicados.[24, 27, 28, 29, 30, 31]

Además, las metodologías tienen vacíos en la evaluación en planta de la incidencia del diseño, construcción y operación de la estación de evaporación sobre la eficiencia energética. En las estaciones evaporadoras es imprescindible

verificar los requerimientos técnicos mínimos de diseño, construcción y operación; así como los problemas operacionales y sus causas. [7, 10, 11, 13]

El objetivo fue proponer una metodología para la evaluación energética de la estación de evaporación que complemente los métodos para la gestión de la energía en los ingenios azucareros; en correspondencia con el sistema de gestión de la energía (SGEn) basado en la norma ISO 50001 y sus normas complementarias.

Materiales y métodos

El sistema termoenergético de los ingenios azucareros está compuesto por un bloque de generación (generadores de vapor), un bloque de fuerza (máquinas reciprocantes, turbinas y turbogeneradores), y un bloque de consumo (equipos tecnológicos del proceso).

Dentro de este último bloque, la estación de evaporación es la responsable de concentrar el jugo clarificado y convertirlo en meladura por la acción del vapor bajo el principio de la evaporación a múltiple efecto. Ella recibe vapores de escape de alta presión y entrega vapores vegetales a calentadores de jugo mezclado, calentadores de jugo clarificado y tachos al vacío; por lo constituye el centro del balance energético de los ingenios azucareros. Su diseño, construcción, operación, limpieza y mantenimiento están estrechamente vinculadas a la eficiencia energética del ingenio. [11] El subsistema tecnológico, a los efectos de la investigación, incluye estas complejas interrelaciones (figura 1).

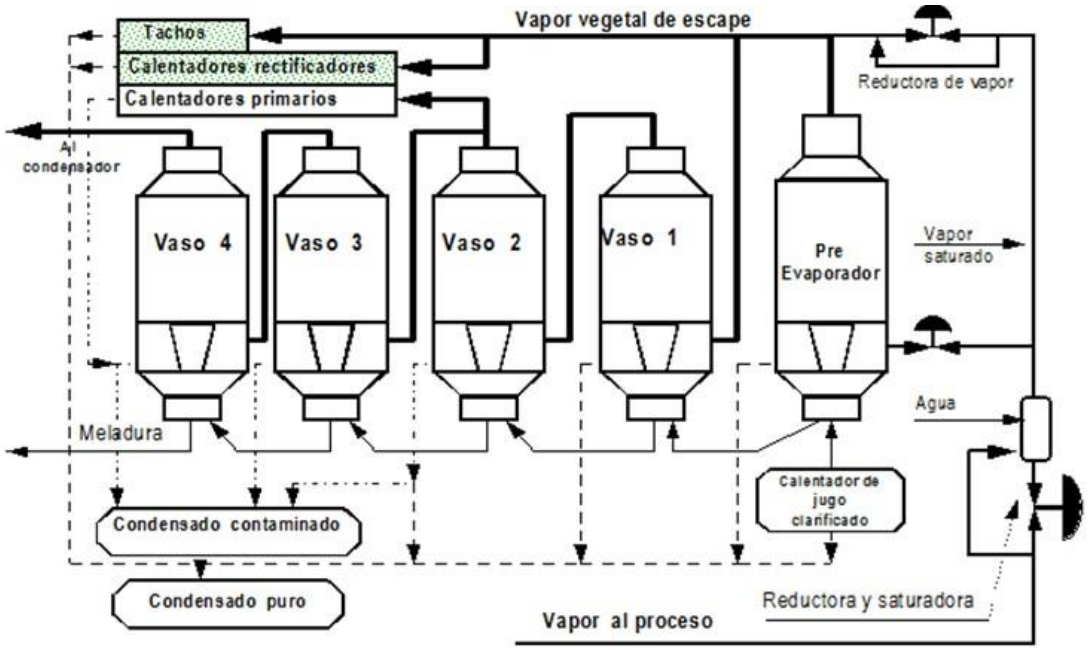

Fig. 1- Esquema típico de uso del vapor en una estación de evaporación de ingenios azucareros [11]

La metodología para la evaluación de la eficiencia energética de la estación de evaporación de ingenios azucareros se estructuró según el ciclo PHVA de Mejora Continua (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar) [35, 36], proceso recurrente para mejorar el desempeño energético.[14]

En el diseño se tuvieron en cuentas los principios y requisitos de implementación de sistema de gestión de la energía (SGEn) basado en la norma ISO 50001 y sus normas complementarias.[14, 33, 34] Asimismo, los principales elementos del Análisis Complejo de Procesos (ACP), como método científico de reconocimiento y definición de problemas, y el desarrollo de procedimientos para su solución, basado en la heurística, y el análisis científico-técnico, y técnico-económico.[19, 37, 38, 39]

Resultados y discusión

En la figura 2 se presenta el diagrama heurístico con la metodología para la evaluación de la eficiencia energética de la estación de evaporación de ingenios azucareros.

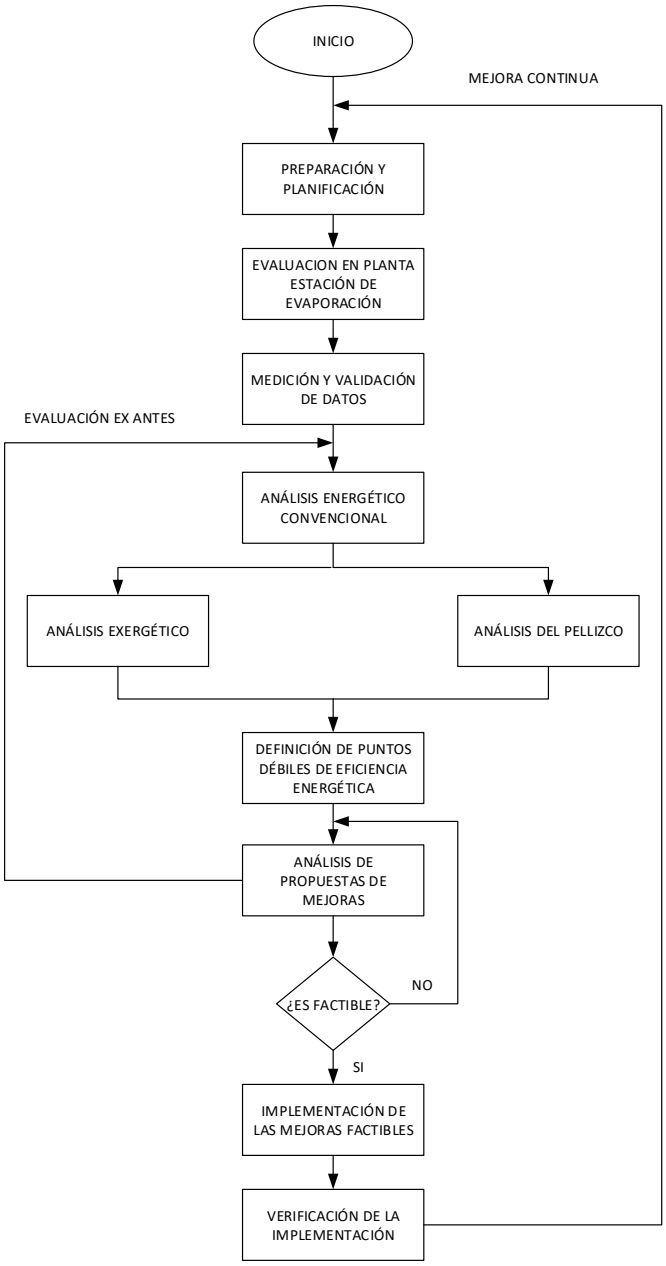

Fig. 2- Diagrama heurístico con la metodología para la evaluación de la eficiencia energética de la estación de evaporación de ingenios azucareros

La metodología propuesta tiene en cuenta los aportes y supera las limitaciones de las metodologías existentes. Incorpora métodos y criterios para desarrollar una revisión energética, en correspondencia con el sistema de gestión de la energía (SGEn) basado en la norma ISO 50001 y sus normas complementarias; pondera la incidencia del diseño, construcción y operación de la estación de evaporación sobre la eficiencia energética; y enfatiza en la sinergia entre los métodos de análisis energético, exergético, de integración de procesos (Análisis del Pellizco).

La aplicación de la metodología requiere del empleo de métodos, técnicas y herramientas de la investigación científica e ingenieriles bajo el principio de la convergencia metodológica.

A continuación, se detalla el alcance y contenido de cada uno de los pasos:

Paso 1: Preparación y planificación

- Conformación y capacitación del equipo multidisciplinario de trabajo, incluidos los especialistas del ingenio.
- Definición de los objetivos, alcance técnico y límites físicos del estudio del subsistema tecnológico (Estación de evaporación y sus interrelaciones).
- Sistematización del procedimiento metodológico y de las herramientas ingenieras a utilizar.
- Planeación de los recursos y el tiempo necesarios.
- Determinación, recopilación y sistematización de la información técnica necesaria sobre los procesos y equipos que consumen energía en el subsistema tecnológico (Estación de evaporación y sus interrelaciones):

    - Documentos y datos de diseño; descripciones técnicas del proceso, etapas y equipos; y planos, diagramas de flujo y esquemas termoenergéticos.
    - Manuales de operación y mantenimiento.
    - Datos históricos del desempeño energético.
- Elaboración del plan y frecuencia de mediciones, y verificación del estado metrológico de los instrumentos de medición. Incluye:

- Datos del control químico y operacional del ingenio.
- Datos experimentales de operación del proceso y del sistema termoenergético.

– Revisión y calibración de los instrumentos de medición existentes, e instalación de otros adicionales de ser necesarios para garantizar datos precisos y repetibles, prestando especial atención a los sistemas de unidades de medidas.
– Aplicación de otras recomendaciones para la planificación de auditorías energéticas establecidas en la norma ISO 50002.[34]

Paso 2: Evaluación en planta

– Realización de trabajo de campo en las instalaciones, inspeccionando el estado técnico del subsistema tecnológico (Estación de evaporación y sus interrelaciones).
– Verificación de los requerimientos técnicos mínimos de diseño y construcción del subsistema tecnológico (Estación de evaporación y sus interrelaciones). [7, 10, 11, 13]
– Identificación de los principales problemas operacionales del subsistema tecnológico (Estación de evaporación y sus interrelaciones) y sus causas. [7, 10, 11, 13]
– Aplicación de otras recomendaciones para la realización de la visita al emplazamiento, establecidas en la norma ISO 50002.[34]

Paso 3: Medición y validación datos

– Recopilación de los datos del control químico y operacional del ingenio y del subsistema tecnológico (Estación de evaporación y sus interrelaciones), con base en la contabilidad azucarera, con la confiabilidad requerida. Estos están basados en mediciones, determinaciones analíticas y cálculos.
– Recopilación de los datos experimentales de operación del proceso azucarero y del subsistema tecnológico (Estación de evaporación y sus interrelaciones).

Cuanto más precisa resulte la determinación del estado del proceso, y en particular la estación de evaporación; basada en los valores medidos y en los cálculos que se desprenden de aquellos, más segura y confiable será las proposiciones de mejoras.

- Limitación de la medición y registro de datos de los parámetros operacionales a aquellos períodos en que el ingenio muestre un comportamiento estable de su molida potencial; de manera que los datos recopilados sean representativos del proceso, equipos y sistemas.
- Validación y análisis de los datos, utilizando métodos y softwares estadísticos. Incluye las características numéricas y el grado de dispersión de los datos (media, desviación estándar, coeficiente de variación y la normalidad).
- Aplicación de otras recomendaciones para la recopilación de datos y el plan de medición, establecidas en la norma ISO 50002.[34]

Paso 4: Análisis energético

- Realización de los cálculos térmicos basados en balances de masa, energía y exergía; y en la aplicación de métodos de integración de procesos (Análisis del Pellizco):

Análisis energético convencional

- Balance de masa y energía del proceso tecnológico: con la información técnica y los datos disponibles se procede a realizar el balance de masa y energía del proceso tecnológico; incluida la estación de evaporación. Incluye en Se basa en los procedimientos de evaluación y los métodos de cálculos rigurosos propuestos por la literatura especializada.[7, 8, 10, 13]
- Uso de software profesionales especializados y validados en la industria azucarera, entre ellos: SISTEC [27], OPTIMOS [27], SISTEMA TERMO AZÚCAR [21] y LERB.[12]

– Evaluación energética convencional de la estación de evaporación y de las unidades evaporativas: los principales indicadores recomendados para la evaluación energética son:

- Productividad o evaporación total.[7, 8,13,15]
- Economía.[8,13]
- Eficiencia del área de evaporación.[8]
- Coeficiente de evaporación.[7,8,11,13]
- Coeficiente total de transferencia de calor.[7,8,11,13]
- Factor de Dessin.[7,13]

Análisis exergético

Se retroalimenta de los resultados del balance de masa y energía del proceso tecnológico y de la estación de evaporación. Comprende:

– Balance de exergía de la estación de evaporación: Se realiza el balance exergético según procedimiento y método de cálculo riguroso propuesto por Baloh y Wittwer.[10] Se recomienda el uso de un libro de cálculo de Microsoft Office Excel.
– Elaboración del diagrama de flujo exergético (Grassmann).[10]

Análisis del Pellizco

Se retroalimenta de los resultados del balance de masa y energía del proceso tecnológico y de la estación de evaporación; identificando las fuentes y sumideros de calor. Comprende:

– Aplicación del método de Análisis del Pellizco.[24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32]
– Uso de softwares profesionales especializados y validados en la industria azucarera; entre ellos: HENSAD [31, 32] y ASPEN ENERGY ANALYZER.[32]

Paso 5: Definición de puntos débiles de eficiencia energética

- Evaluación individual e integral de los indicadores de desempeño energético obtenidos de la aplicación de los métodos de análisis energético, exergético, de integración de procesos.
- Definición de los puntos débiles de eficiencia energética, siguiendo la estrategia del Análisis Complejo de Procesos.[19, 37, 38, 39]
- Aplicación de otras recomendaciones para el análisis del desempeño energético, establecidas en la norma ISO 50002.[34]

Paso 6: Análisis de propuestas de mejoras

- Identificación de las oportunidades de mejoras del desempeño energético a partir de las competencias del equipo de trabajo, de los estándares del equipamiento, y del benchmarking. Incluye:

  - Opciones de remodelación y/o diseño.
  - Cambios en la operación.
  - Buenas prácticas de operación y mantenimiento.
- Evaluación ex antes del impacto sobre el desempeño energético de las oportunidades de mejoras, rehaciendo el análisis energético (Paso 4).
- Aplicación de otras recomendaciones para la identificación y evaluación de las oportunidades de mejoras, establecidas en la norma ISO 50002.[34]

Paso 7: Análisis de factibilidad

- Aplicación de criterios técnicos, económicos, sociales y ambientales.
- Utilización de metodologías para la elaboración de las fundamentaciones económicas financieras de proyectos.

Paso 8: Implementación de las mejoras factibles

- Implementación de las mejoras factibles.

Paso 9: Verificación de la implementación

- Realización de auditorías energéticas para el seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño energético.
- Implementación de la mejora continua, nuevo proceso de evaluación (Paso 1).

Conclusiones

1. La metodología propuesta para la evaluación energética de la estación de evaporación de ingenios azucareros incorpora métodos y criterios para desarrollar una revisión energética, en correspondencia con el sistema de gestión de la energía (SGEn) basado en la norma ISO 50001 y sus normas complementarias; pondera la incidencia del diseño, construcción y operación de la estación de evaporación sobre la eficiencia energética; y enfatiza en la sinergia entre los métodos de análisis energético, exergético, de integración de procesos (Análisis del Pellizco).
2. La metodología constituye una contribución metodológica que robustece la revisión energética de la estación de evaporación, permitiendo el análisis exhaustivo del problema y la pertinencia de las mejoras para incrementar la eficiencia energética; y complementa los métodos existentes para la gestión de la energía en los ingenios azucareros.

Referencias bibliográficas

1. UNITED NATIONS ORGANIZATION. *Transforming Our Worl: The 2030 Agenda for Sustainable Development, A/RES/70/01* [en línea]. United Nations Organization (UNO). 2015, pp 40. [Consultado 23 enero 2018]. Disponible en: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E

2.MINISTERIO DE ECONOMÍA Y PLANIFICACIÓN. *Informe Nacional Voluntario* [en línea]. Ministerio de Economía y Planificación (MEP). Empresa de Artes Gráficas Federico Engels. La Habana, Cuba, 2020. pp 232. [Consultado 20 septiembre 2021]. Disponible en: https://www.presidencia.gob.cu/es/gobierno/objetivos-de-desarrollo-sostenible-en-cuba.pdf

3.GRUPO AZUCARERO AZCUBA. *Inversión y Desarrollo. Proyección Estratégica*. [en línea]. Grupo Azucarero Azcuba. La Habana, Cuba, 2022. [Consultado 20 junio 2022]. Disponible en: https://www.azcuba.cu/es/proyeccion-estrategica

4. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. *Políticas, Programas y Proyectos Energías Renovables*. Ministerio de Energía y Minas (MINEM). La Habana, Cuba, 2022. [Consultado 20 junio 2022]. Disponible en: https://www.minem.gob.cu/es/actividades/energias-renovables-y-eficiencia-energetica

5. PARTIDO COMUNISTA DE CUBA. *La Conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista y los Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución para el período 2021-2026* [en línea]. La Habana, Cuba: Partido Comunista de Cuba (PCC), 2021. [Consultado 20 junio 2021]. Disponible en: https://www.presidencia.gob.cu/media/filer/public/2021/06/18/conceptos_lineamientos.pdf

6.PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE CUBA. *Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030.* [en línea]. La Habana, Cuba: Presidencia de la República de Cuba, 2022. [Consultado 23 julio 2022]. Disponible en: https://www.presidencia.gob.cu/es/gobierno/plan-nacional-de-desarrollo-economico-y-social-hasta-el-2030

7. HUGOT, E. Handbook of Cane Sugar Engineering. Third completely revised edition. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam, The Netherlands. 1986. pp 1166. ISBN 0-444-42438-5.

8. ESPINOSA, R.; MACHADO, S.; REYMOND, A.; CARRILLO, M. J.; PRIADKO, N. A. *Sistemas de utilización de calor en la industria azucarera*. Ediciones ENPES. La Habana, Cuba. 1990. pp 443. Sin ISBN.

9. PAYNE, J. H. *Cogeneration in the cane sugar industry*. 1st edition. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam, The Netherlands. 1991. pp 329. ISBN 0-444-88826-8.

10 BALOH, E.; WITTWER, T. *Energy manual for sugar factories*. 2nd edition. Verlag Dr. Albert Bartens KG. Berlin, Alemania. 1995. pp 200. ISBN 3-87040-055-2.

11. MINISTERIO DEL AZÚCAR. *Manual de operaciones de fabricación de azúcar crudo*. Ministerio del Azúcar (MINAZ). La Habana, Cuba. 1989. pp 295. Documento técnico, Inédito.

12. INSTITUTO CUBANO DE INVESTIGACIONES DE LOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZUCAR. *Resultados de los Institutos Cubanos de Investigación, Desarrollo e Innovación en las Tecnologías sobre Azúcar y Derivados. En Capítulo 11 La energía en el proceso azucarero (Jorge T. Lodos Fernández, Raúl Sabadí Díaz y Leopoldo Rostgaard Beltrán).* Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Editorial ICIDCA. La Habana, Cuba. 2020. pp 269-304. ISBN: 978-959-7165-60-6

13. REIN, P. *Cane Sugar Engineering*. 2nd edition. Verlag Dr. Albert Bartens KG. Berlin, Alemania. 2017. pp 943. ISBN 978-3-87040-167-2.

14. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *Sistemas de gestión de la energía-Requisitos con orientación para su uso (NC ISO 50001: 2019).* Norma Cubana. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización (ONN), 2019.

15. MINAZ. *Balance de Bagazo: Metodología para la determinación del consumo de vapor y combustible en complejos agroindustriales*. Ministerio del Azúcar (MINAZ) Habana, Cuba. 1989. pp 51. Sin ISBN.

16. GOZA, O. Estrategia de análisis para lograr un uso más eficiente de la energía en los centrales azucareros. Tesis doctoral inédita. H. E. Pérez de Alejo Victoria (dir.). Instituto Superior Politecinco José Antonio Ehecverarria. La Habana, Cuba. 1996.

17. DÍAZ, E. P. Energía: elemento básico para la operación eficiente del ingenio. *Cuba Azúcar*. 1998, **27**(1), pp 11-13. ISSN 0590-2916.

18. GÓMEZ, A. L.; BRICEÑO, C. O.; NIÑO, R. *Manual de auditoría energética para los ingenios azucareros*. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Cali, Colombia. 1999. pp 380. ISBN 978-958-95893-3-5.

19. PÉREZ DE ALEJO, H. E.; PÉREZ, A.; CORRALES, Y.; PÉREZ O.; CURBELO, T.; GONZÁLEZ, Y.; GOZA, O.; MARRERO, R. *El análisis de procesos y el empleo adecuado de la energía en la producción de azúcar crudo y electricidad en ingenios cubanos*. Monografía. 2008. 192 pp. ISBN 978-959-16-0991-5.

20. CORTÉS, M.; CORNES, Y.; ALOMÁ, I.; GONZÁLEZ, E. Evaluación del sistema energético en el central azucarero Quintín Bandera. *Centro Azúcar* [en línea]. 2019, **46**(3), pp. 66-78. [Consultado 25 mayo 2021]. ISSN 2223-4861. Disponible en: http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/26

21. HERNÁNDEZ, J. P. ESPINOSA, R.; PÉREZ, C.; GARCÍA, A. M.; GARCÍA, I. A. Gestión energética en un central de azúcar crudo con uso del software STA 4. Centro Azúcar [en línea]. 2020, **47**(1), pp. 77-89. [Consultado 25 mayo 2021]. ISSN 2223-4861. Disponible en: http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/171

22. JIMÉNEZ, R.; ÁLVAREZ, A.; LÓPEZ, E.; LORENZO, J. Mejoras en el esquema tecnológico para lograr incrementos en la eficiencia energética en un central azucarero. SciComm Report [en línea]. 2021. **1**(1), pp 1-14. [Consultado 8 enero mayo 2022]. ISSN 2735-623X. Disponible en: https://doi.org/10.32457/scr.v1i1.619

23 ITURRALDE, L.A.; ESPINOSA, A. R.; CASTRO, N.A.; JIMÉNEZ, R. Metodología para balance energético de centrales azucareros soportada en Microsoft Excel Universidad y Sociedad [en línea]. 2022, **14**(4), pp 190-196. [Consultado 5 agosto 2022]. ISSN 2218-3620. Disponible en: https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/download/3035/2987

24. SINGH, I., RILEY, R. AND SELLIER, D. Using pinch technology to optimise evaporatorand vapour bleed configuration at the Malelane Mill. *Proc. S. Afr. Sugar Tech. Assoc.* [en línea]. 1997, **71**, pp 207-216. [Consultado 10 marzo 2021]. Sin ISBN. Disponible en: https://sasta.co.za/download/8/1990-1999/2923/1997_singh_using-pinch-technology-to.pdf

25. ESPINOSA, P. *La tecnología Pinch en el marco de la industria Química*. Editorial Fijóo. Villa Clara, Cuba. 2001. ISBN 950-250-020-7.

26 ESPINOSA, P. *Análisis de la integración energética en los procesos tecnológicos de la industria azucarera*. Editorial Fijóo. Villa Clara, Cuba. 2001. ISBN 950-250-015-0.

27. GUTIÉRREZ, O.; ESQUERRA, Y.; ESPINOSA, R.; PERERA, O. Auditoría energética en un Ingenio azucarero para incrementar su eficiencia energética y cogeneración. *Centro Azúcar*. 2001, **28**(4), pp 22-33. ISSN 0253-5777.

28. LAVARACK, P.C. Application of energy integration techniques (pinch technology) to reduce process steam consumption for raw sugar factories. *International Sugar Journal*. 2007, **109 (**1304), pp 499-504. ISSN 0020-8841.

29. GONZÁLEZ, M.; ALBERNAS, Y.; GONZÁLEZ, E.; GONZÁLEZ, V.; ESPINOSA, R. Evaluación del sistema de evaporación del proceso de fabricación de azúcar en la empresa Antonio Sánchez. *Tecnología Química* [en línea]. 2012, **32**(2), pp. 131-137. [Consultado 10 marzo 2021]. ISSN 2224-6185. Disponible en: https://tecnologiaquimica.uo.edu.cu/index.php/tq/article/view/723/695

30. CABRERA, J.; CASAS, Y.; DE LA CRUZ, L.; ARTEAGA, L. E. Análisis exergético del proceso de producción de azúcar crudo. *Centro Azú*car [en línea]. 2014, **41**(3), pp. 1-13. [Consultado 25 mayo 2021]. ISSN 2223-4861. Disponible en: http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/259/25

31. BARAMBU, U.; EL-NAFATY, A.; SAEED, A. Energy Integration of Sugar Production Plant Using Pinch Analysis: A Case Study of Savanah Sugar Company Yola, Nigeria. *Advances in Applied Science Research* [en línea]. 2017, **8**(2), pp 20-29. [Consultado 25 mayo 2021]. ISSN 0976-8610. Disponible en: https://www.primescholars.com/articles/energy-integration-of-sugar-production-plant-using-pinch-analysis-a-case-study-of-savanah-sugar-company-yola-nigeria.pdf

32. HERNÁNDEZ, J. P., DE ARMAS, A. C., ESPINOSA, R. O., PÉREZ, O., GUERRA, L. E. Procedimiento de análisis energético para la conversión de industrias de la caña de azúcar en biorrefinerías. *Universidad y Sociedad* [en línea]. 2021, **13**(5), pp. 277-288. [Consultado 25 mayo 2021]. ISSN 2218-3620. Disponible en: https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2234/2208

33. AGENCIA DE SOSTENIBILIDAD ENERGETICA. *Guía de Implementación de Sistema de Gestión de la Energía basada en ISO 50001* [en línea]. Cuarta edición revisada. Agencia de Sostenibilidad Energética. Santiago de Chile.

2018. pp 79. Sin ISBN. [Consultado 10 septiembre 2019]. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1OBbFU1XgjCcUt4r8gt79EVubc-oLsHAY/view

34. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *Auditorías energéticas-Requisitos con orientación para su uso (NC ISO 50002: 2018).* Norma Cubana. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización (ONN), 2018.

35. GUTIÉRREZ, H., DE LA VARA, R. C*ontrol estadístico de calidad y seis sigma*, [en línea]. 3ra ed. México D.F.: Mc Graw Hill. 2013. pp 468. ISBN 978-607-15-0929-1. [Consultado 27 junio 2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/16455512/Control_Estad%C3%ADstico_de_la_Calidad_y_Seis_Sigma_3ed

36. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. *Quality management systems-Requirements*. *(ISO 9001: 2015). International Standard.* Ginebra, Suiza: International Standard Organization (ISO), 2015.

37. GONZÁLEZ, E.; RABASSA, G. El Análisis Complejo de Procesos en países en vías de desarrollo. *Centro Azúcar* [en línea]. 2012, **39**(1), pp. 1-7. [Consultado 25 mayo 2021]. ISSN 2223-4861. Disponible en: http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/324/316

38. GONZÁLEZ, E.; RABASSA, G. El Análisis Complejo de Procesos. Su lugar en la Industria Química Actual. *Centro Azúcar* [en línea]. 2012, **39**(1), pp. 1-6. [Consultado 25 mayo 2021]. ISSN 2223-4861. Disponible en: http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/323/315

39. GUZMÁN, M.; GONZÁLEZ, E.; MORALES, M. Metodología para gestionar la innovación tecnológica con integración del análisis complejo de proceso en la industria ronera cubana. *Tecnología Química* [en línea]. 2019, **39**(2), pp.370-383. [Consultado 25 mayo 2021]. ISSN 2224-6185. Disponible en: https://tecnologiaquimica.uo.edu.cu/index.php/tq/article/view/4929/4270

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

Omar Gutiérrez Benítez: actualizó el estado del arte sobre las tendencias en la eficiencia energética de estaciones de evaporación, y los métodos de evaluación. Elaboró el protocolo de la investigación. Participó en el diseño y validación en estudios de caso de la metodología propuesta. Concibió, escribió y corrigió el manuscrito del artículo.

Henry Rafael Hernández Fundora: participó en el análisis de las tendencias en la eficiencia energética de estaciones de evaporación, y los métodos de evaluación. Participó en el diseño y validación en estudios de caso de la metodología propuesta. Realizó la oponencia al manuscrito del artículo.

David Javier Castro Rodríguez: capacitó a los investigadores en el ciclo PHVA de Mejora Continua (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). Participó en el diseño y validación en estudios de caso de la metodología propuesta. Realizó la oponencia al manuscrito del artículo.