POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Auditoría del manejo de residuos oleosos en un grupo electrógeno de diésel

Original
Auditoría del manejo de residuos oleosos en un grupo electrógeno de diésel / Castro Rodríguez, David Javier; Gutiérrez Benítez, Omar; Bermúdez Acosta, Jelvys; Poma Rodríguez, José Reynol. - In: TECNOLOGÍA QUÍMICA. - ISSN 2224-6185. - 40:2(2020), pp. 223-240.

Availability:
This version is available at: 11583/2870180 since: 2021-02-08T21:50:19Z

Publisher:
Universidad de Oriente, Cuba.

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)

16 May 2024

Recibido: sept., 2019 / Aceptado: ene., 2020

Auditoría del manejo de residuos oleosos en un grupo electrógeno de diésel

Audit of the management of oily waste in a diesel generator

MSc. David Javier Castro-Rodríguez, MSc. Omar Gutiérrez-Benítez, MSc. Belvis Bermúdez-Acosta, MSc. José Reynol Poma-Rodríguez

Departamento de Gestión e Ingeniería Ambiental. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Cuba

davicastro86@gmail.com

Resumen

La generación de electricidad tiene asociados impactos ambientales negativos entre los que se encuentra la contaminación por residuales oleosos. El propósito fue auditar el manejo de los residuales oleosos de un grupo electrógeno de diésel y proponer acciones correctivas para los hallazgos. Se utilizó el procedimiento de ocho pasos en la solución de un problema. Se establecieron los criterios de auditoría y como evidencias se diagnosticaron los órganos de tratamiento, se muestreó el cuerpo receptor y las aguas oleosas dispuestas. La concentración de hidrocarburos y grasas superaron los límites establecidos. Derrames de hidrocarburos, aumento de la carga al sistema y tupiciones fueron los principales modos de fallas. Se diseñó un plan de 27 acciones correctivas que constituyeron ideas conceptuales para mejorar el desempeño ambiental. El proceder es generalizable a otros grupos electrógenos y con ello se contribuye a la sostenibilidad en la generación distribuida de energía eléctrica.

Palabras clave: auditoría, manejo de residuos oleosos, grupo electrógeno diésel, acciones correctivas.

Abstract

The generation of electricity has associated negative environmental impacts among which is the contamination by oily waste. The purpose was to audit the management of the oily residuals of a diesel generator and to propose corrective actions for the findings. The eight- step procedure was used in solving a problem. The audit criteria were established and, as evidences, the treatment organs were diagnosed, the receiving body and the oily water disposed were sampled. The concentration of hydrocarbons and fats exceeded the established limits. Hydrocarbon spills, increased system load and clogging were the main failure modes. A plan of 27 corrective actions was designed, which constituted conceptual ideas to improve environmental performance. The procedure can be generalized to other sets and thus contributes to sustainability in the distributed generation of electrical energy.

Keywords: audit; oily waste management; diesel generator; corrective actions.

Introducción

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible presenta una visión ambiciosa del desarrollo sostenible e integra sus dimensiones económica, social y ambiental. Dentro de su objetivos, se reconocen metas dirigidas a mejorar la infraestructura y reajustar las industrias para que sean sostenibles, usando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales; aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales; reducir considerablemente el número de muertes y enfermedades causadas por productos químicos peligrosos, por la polución y la contaminación; lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, y reducir significativamente su liberación, a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente; reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización [1].

El uso de los hidrocarburos en la sociedad es muy amplio y está asociado a múltiples actividades que incluyen la exploración, transportación y procesamiento. En consecuencia, la contaminación causada por productos del petróleo es uno de los más comunes problemas ambientales de la actualidad [2]. Su intenso manejo trae asociado el riesgo inminente de que puedan ocurrir descargas en el ambiente con implicaciones de contaminación, las que pueden amplificar sus efectos dañinos por el fenómeno de envejecimiento [3].

Por su parte, la Estrategia Ambiental Nacional cubana asegura que en el país existe un grado significativo de contaminación ambiental, con un sensible impacto en el estado de los diferentes componentes del medio ambiente y la calidad de vida de las personas. En la manifestación de la contaminación ambiental, han incidido múltiples factores entre los que se incluyen: la insuficiente cobertura de tratamiento de residuales, la indisciplina tecnológica y el incumplimiento de los ciclos de reparación y mantenimiento, el escaso nivel de introducción de prácticas y estrategias de carácter preventivo orientadas a la reducción de la generación de residuales y emisiones en la fuente de origen, el insuficiente grado de capacitación y sensibilización a todos los niveles de la

organización productiva y de servicios, los limitados recursos materiales y financieros para la ejecución de acciones encaminadas a la solución de esta problemática y el bajo nivel de ejecución y de efectividad de las inversiones destinadas a la prevención, reducción y control de la contaminación, entre otras. En general son insuficientes las capacidades para el monitoreo y evaluación sistemática de la contaminación, lo que incide de manera notable en el conocimiento acerca del alcance y las tendencias de esta problemática en el ámbito nacional.

Cuba, que no es un país desarrollado ni cuenta con un alto desarrollo industrial, lleva a cabo programas gubernamentales con vistas a realizar acciones para la mejora energética, en el ámbito productivo y social, se realizan inversiones económicas en las ramas de la industria, transporte y en los servicios. Generar la energía eléctrica lo más cerca posible del lugar del consumo es una de las alternativas tecnológicas que ha adoptado el país. Más del 50 % de la capacidad de generación eléctrica está basada en plantas generadoras distribuidas de pequeña escala, que utilizan los combustibles fósiles para garantizar la energía eléctrica demandada por el sector industrial y residencial, agravando en su uso las afectaciones al ambiente [4,5].

En un estudio del análisis del ciclo de vida de la generación distribuida se reconoce que existen pocos estudios sobre el impacto ambiental que provoca la misma sobre el medio ambiente y la salud humana [6]. A pesar de ello, la contaminación con hidrocarburos de los suelos y las aguas superficiales, se han identificado como impactos ambientales negativos asociados a la ejecución de los procesos de generación, purificación de combustible así como reparación y mantenimiento de equipos, en centrales eléctricas de la red de generación distribuida del país [7].

Específicamente, en el grupo electrógeno de diésel de Cruces se manejan hidrocarburos y residuos oleosos. En específico, la generación de lodos petrolizados y residuales líquidos oleosos provienen de la purificación (centrifugación) de diésel y aceites de proceso, así como de las purgas de tanques de almacenamientos de combustibles, derrames accidentales en las operaciones de descarga de combustibles y trasiego de aceites, averías, fregado de piezas en los talleres, entre otras actividades.

Las auditorías ambientales o eco-auditorías, han pasado a ocupar un lugar destacado dentro de los instrumentos de gestión ambiental, a partir de que los gestores han percibido que los monitoreos de forma aisladas no bastaban para alcanzar los resultados necesarios. Su principal objetivo es identificar riesgos o impactos ambientales que puedan acontecer en la ejecución de las actividades de una entidad, antes de que se transformen en pasivos ambientales [8]. En este contexto, resulta necesario la ejecución de auditorías al manejo de residuales oleosos de los grupos electrógenos, como un proceso sistemático, independiente y documentado que permite obtener evidencias y evaluarlas de manera objetiva, con el fin de determinar el grado en el que se cumplen criterios [9].

El propósito fue auditar el manejo de los residuales oleosos del grupo electrógeno de diésel de Cruces y proponer acciones correctivas para los hallazgos detectados.

Materiales y métodos

El grupo electrógeno de diésel de Cruces, pertenece a la Unión Eléctrica de Cuba (UNE) y posee ocho unidades de generación MTU serie 4000 [6]. En la figura 1 se muestra un croquis de la vista en planta, con los principales objetos de obra de la instalación.

Procedimiento metodológico

El programa de auditoría se implementó teniendo en cuenta las directrices para la auditoría de los sistemas de gestión [9]. Además, bajo el principio de la convergencia metodológica, se adoptó un procedimiento basado en los *ocho pasos en la solución de un problema*, que introdujo varias herramientas que se consideraron complementarias [10].

Se realizó la revisión documental de antecedentes, entre ellos: licencia ambiental; dictamen de la licencia ambiental; plan de manejo de desechos peligrosos; dictamen de la licencia para el manejo de desechos peligrosos; dictámenes de la inspección ambiental estatal; proyectos técnicos de ingeniería básica y de detalle, en particular de la especialidad de hidráulica y sanitaria de los sistemas de tratamiento de aguas residuales oleosas, incluidos los planos

de todos sus elementos y órganos componentes, interconexiones y redes; caracterizaciones de las aguas residuales oleosas anteriores; manual de procedimientos e instrucciones; manual de gestión para la generación distribuida de la electricidad; procedimientos, instrucciones, registros de operación y mantenimiento de los sistemas tratamiento de aguas residuales oleosas; estado de la competencia profesional de los de los directivos, especialistas y operarios desde el punto de vista ambiental; informes finales evaluativos previos de caracterizaciones de los residuales líquidos del grupo electrógeno.

Para el establecimiento de los criterios de auditoría, que consisten en el conjunto de políticas, procedimientos o requisitos usados como referencia, se consultaron además las normas cubanas: NC 819: 2017 “Manejo de fondaje de tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados”; [11]. NC 27: 2012 “Vertimiento de aguas residuales a aguas terrestres y al alcantarillado-Especificaciones”; [12]. NC TS 1067: 2015 “Industria del petróleo -Aceites lubricantes usados-Especificaciones”; [13]. NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 “Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación” [14].

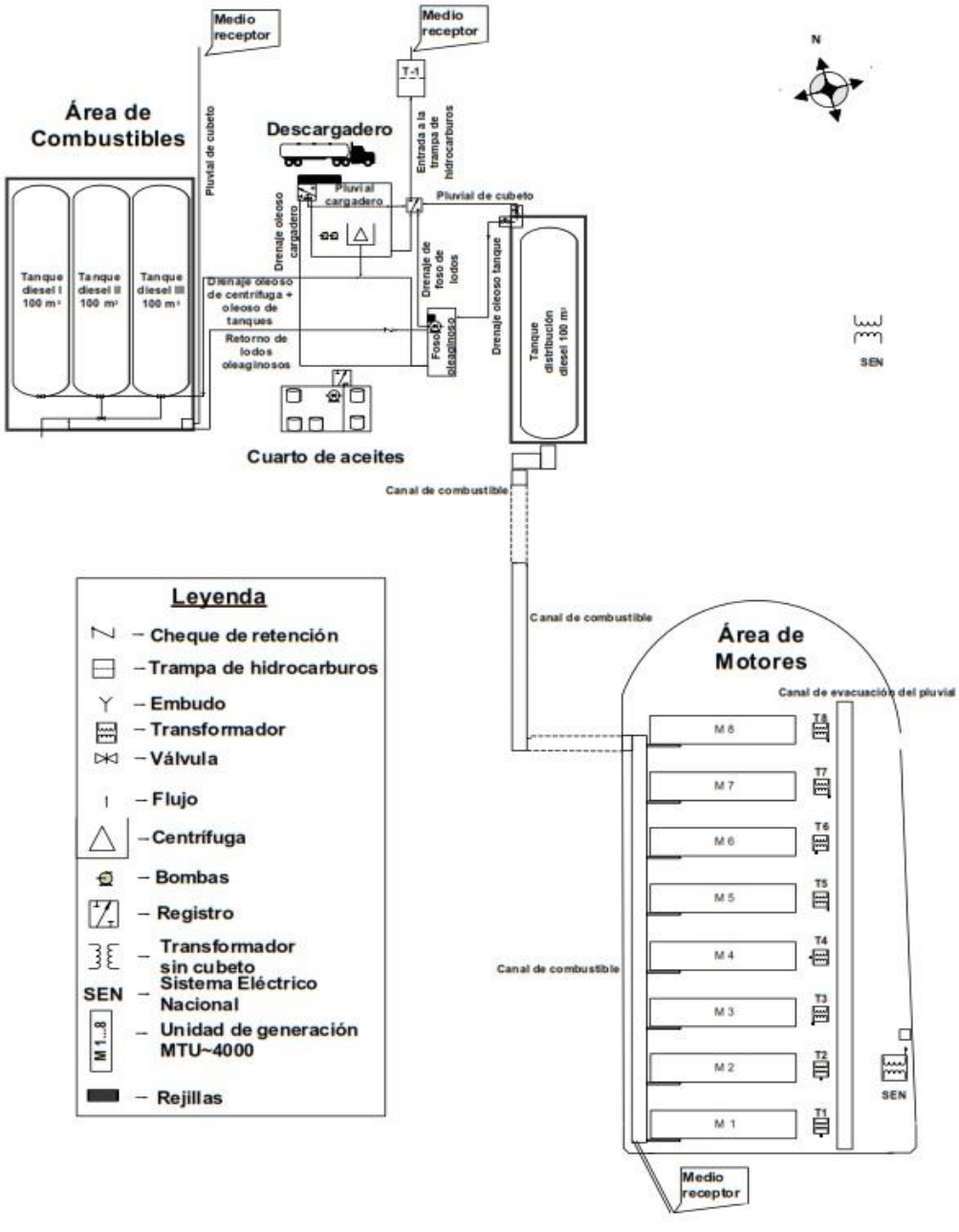

Fig. 1. Croquis de la vista en planta de los principales objetos de obra del grupo electrógeno de diésel de Cruces

Las evidencias consistieron en registros, declaraciones de hechos e información pertinente a los criterios de auditoría, cumpliendo de esta manera con el requisito de ser verificables [9]. Para obtener las evidencias se realizó trabajo de campo o actividades de auditoría *in situ* y se utilizaron las siguientes técnicas: I Observación directa: se realizaron recorridos por las áreas físicas de la entidad y sus alrededores, levantando toda la información de interés, tomando evidencias fotográficas y coordenadas geográficas. II Entrevista: se entrevistaron a directivos, especialistas, operarios y vecinos. La técnica

utilizada fue de entrevista del tipo menos estandarizada, o sea, centrada o focalizada en la problemática estudiada. III Croquis, mapas y diagramas de flujos: se elaboraron croquis, mapas y diagramas de flujo para complementar y sistematizar la información levantada en el trabajo de campo. IV Cuestionario: Se utilizó un cuestionario para la inspección ambiental a los sistemas de tratamiento y disposición final de aguas residuales [15].

Se realizó la identificación y el diagnóstico tecnológico del *sistema de contención, recolección, evacuación, tratamiento y disposición final de residuales oleosos* (en lo adelante "sistema"), atendiendo al estado técnico, al diseño, la funcionalidad, las condiciones de operación y el mantenimiento. Se analizó por objeto de obra, integrando criterios de función realizada, área física ocupada y puntos de disposición final. Se caracterizaron y evaluaron los cuerpos receptores y de las aguas residuales dispuestas a ellos. Para ello, se realizaron ensayos de hidrocarburos totales (HTP), grasas y aceites (G y A), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y demanda química de oxígeno (DQO). Se diseñó un muestreo dirigido con una frecuencia única de acuerdo a criterios técnico-económicos asociados a los intereses del estudio. Las muestras tomadas y los ensayos se ejecutaron según el manual de procedimientos del Laboratorio de Ensayos Ambientales del CEAC. Los puntos de muestreo se describen en la tabla 1.

Tabla 1- Descripción de los puntos de muestreo

N°.	Punto de muestreo	Matriz Ambiental
1	Canal de salida de pluvial	Aguas, suelos y sedimentos
2	Canal de concreto de salida final	
3	Efluente de área de motores	Suelos y sedimentos
4	Suelos aledaños a la entidad (platanal)	
5	Entrada a la trampa de hidrocarburos	Agua residual
6	Salida de la trampa de hidrocarburos	Aguas, suelos y sedimentos

Basados en el establecimiento de criterios y obtención de evidencias, se utilizaron criterios cualitativos y cuantitativos para la identificación de las causas probables de la contaminación por hidrocarburos. Fueron generadas mediante la técnica de lluvia de ideas y después se graficaron en un diagrama de causa-efecto, también conocido como diagrama de Ishikawa o diagrama Espina de Pescado (este último por su parecido), como forma de exhibir abundante

información en un espacio compacto. Es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan.

En la construcción del diagrama se utilizó el método de enumeración de causas (estratificando previamente por subsistema y posteriormente por objeto de obra), considerando directamente las causas potenciales y agrupándolas por similitud.

Posteriormente, se investigaron las causas más importantes y se utilizó la herramienta de análisis de modo y efecto de las fallas (AMEF) utilizando su número de prioridad de riesgos (NPR), que se manifiesta en el intervalo desde 1 hasta 1000. Se establecieron como causas más importantes las que presentaron un NPR ≥ 600. Finalmente, se elaboró un plan de medidas correctivas que consistió en un paquete de soluciones de ingeniería ambiental, teniendo en cuenta las opciones de Producción Más Limpia (PML) para minimizar, en las fuentes de origen, la generación de carga contaminante por concepto de residuales oleosos. Según las propuestas de Gutiérrez y De La Vara (2013) se procedió como se ha descrito en este párrafo [10].

Resultados y discusión

El esquema de la figura 2 muestra la estratificación del sistema en dos subsistemas (A y B). Estos se describen posteriormente así como los cuerpos receptores que reciben sus descargas.

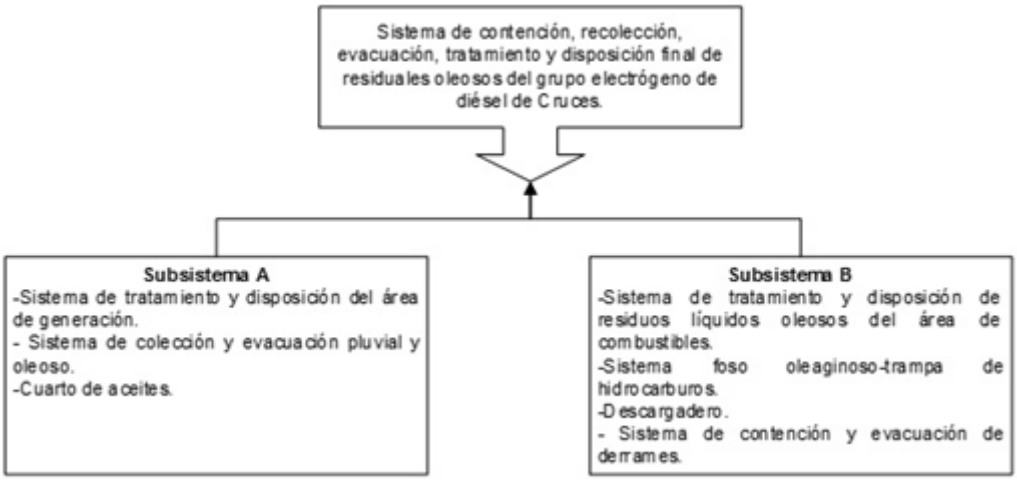

Fig. 2. Esquema de la división por subsistemas del sistema de contención, recolección, evacuación, tratamiento y disposición final de residuales oleosos del grupo electrógeno de diésel de Cruces

Subsistema A: Los residuales oleosos del área de generación (motores y transformadores) incluyen residuos oleaginosos de los motores, derrames, pluviales que son vertidas directamente al suelo cubierto con una capa superficial de grava. Asimismo, los objetos de obra pertenecientes esta área, no están conectados a ninguna trampa ni elemento de contención, existiendo una canal de combustible para el caso de derrames que vierte directamente al medio ambiente. El cuarto de aceites posee un registro ciego para la recolección de derrames y no presenta conexión a la trampa de hidrocarburos ni al foso.

Subsistema B: Como sistema de tratamiento primario de residuos oleosos, tiene concebido una trampa de hidrocarburos de dos secciones, a la cual tributan las aguas oleosas procedentes del drenaje del foso oleaginoso y los drenajes pluviales del cubeto del tanque de distribución, de la centrífuga y del descargadero. Los drenajes de tanques de almacenamiento de combustible, así como las conexiones desde sus cubetos para posibles derrames están conectados directamente al foso oleaginoso. Asimismo, se conectan las tuberías de posibles derrames en el descargadero y la centrífuga. Por su parte, el descargadero de combustibles se bifurca en dos sentidos: el derrame oleoso con destino al foso oleaginoso y el drenaje pluvial que fluye hacia la trampa de hidrocarburos.

El medio receptor corresponde al suelo aledaño a la salida de dos tubos procedentes de la canal de combustibles del área de motores. También

constituye cuerpo receptor una vaguada a la cual tributan los residuales líquidos oleosos por medio de una canal de concreto que está contigua a la cerca perimetral de la entidad. En la tabla 2 se muestran los resultados de los ensayos realizados

Tabla 2- Resultados de los ensayos

Puntos	Variables				
	HTP ($mg \cdot g^{-1}$)	HTP ($mg \cdot L^{-1}$)	G y A ($mg \cdot L^{-1}$)	DBO_5 ($mg \cdot L^{-1}$)	DQO ($mg \cdot L^{-1}$)
1	0,70	<L.D*	No realizados		
2	0,45	21,70			
3	46,00	No aplicable			
4	<L.D				
5	No aplicable	171,00	322,00	115,00	320,00
6		39,00	74,00	50,00	224,00
LMPP**	1,20	No refiere	10,00	50,00	140,00

*** L.D Límite de detección del ensayo de HTP es de 0.3 $mg \cdot g^{-1}$ y 0.3 $mg \cdot L^{-1}$ para suelos y aguas respectivamente.**
**** LMPP: Límite Máximo Permisible Promedio de la norma de referencia (nom-138-SEMARNAT/SSA1-2012 para suelos y NC 27: 2012 para aguas).**

Los resultados muestran que la concentración de HTP en el punto de muestreo 3, correspondiente a los tubos efluentes del área de generación, es de 46 $mg \cdot g^{-1}$, lo cual excede en más de 38 veces lo permitido. Esta evidencia de contaminación con hidrocarburos del suelo aledaño a la entidad, se corresponde con los antecedentes de quejas de vecinos y opiniones que manifiestan haber visto correr fluidamente combustible por el efluente en cuestión ante averías. Lo anterior revela la inexistencia de un sistema de contención y separación primario al final de la canal de combustibles que precede dicho efluente.

La NC 27: 2012 no refiere explícitamente límite máximo permisible para la concentración de HTP en las descargas de aguas residuales y en el cuerpo receptor, pero sí establece una concentración permisible de grasas y aceites de 10 $mg \cdot L^{-1}$ para el acuífero objeto de estudio [12]. En el punto 2 de acuerdo a la correlación de la concentración de HTP en el agua con la concentración de grasas y aceites, se deduce que estás últimas resultan muy superiores a lo establecido. Asimismo, las grasas y aceites superan en más de

7 veces lo establecido a la salida de la trampa de hidrocarburos en el área de combustibles. En el propio punto 6 se puede observar que los valores de DQO superan 1.6 veces el límite máximo establecido y en el caso de la DBO_5 el valor del ensayo justamente está sobre el límite. Coincidente con los resultados de Sánchez (2018), se ratifica que las trampas de grasas o hidrocarburos frecuentemente presentan deficiencias y no cumplen con el objetivo previsto de su diseño, trayendo consigo que los parámetros de las aguas residuales dispuestas se encuentren fuera de norma, resaltando las grasas y aceites, la DQO y la DBO_5 [16].

Dada la situación descrita se presumen riesgos significativos de contaminación con hidrocarburos según las evidencias. Lo anterior pudo haber sido de mayor magnitud, dada la discontinuidad del proceso de operación de la trampa, que provoca que en el intervalo de tiempo entre la última operación y el muestreo; los hidrocarburos vertidos se hallan movilizado hacia el resto de los componentes ambientales (atmósfera, aguas subterráneas, cuerpos de aguas superficiales), por los propios procesos naturales de meteorización de los hidrocarburos, y en alguna medida degradación natural [17].

Por su parte, el diagnóstico tecnológico arrojó que se incumplen: las buenas prácticas de operación y mantenimiento, las medidas técnicas organizativas, los criterios establecidos en procedimientos, en disposiciones legales, y en normas técnicas aplicables. Asimismo, se detectaron deficiencias en el diseño de ingeniería y/o construcción de los sistemas. En particular el foso oleaginoso y la trampa de hidrocarburos no cumplen con los criterios de diseño de los separadores gravitatorios convencionales de hidrocarburos-agua, tales como relaciones geométricas; que aseguren la relación de velocidades horizontal y vertical recomendada, así como pocos defectos de flujo, turbulencias y cortocircuitos [18,19].

Las situaciones descritas con anterioridad se corresponden con estudios similares en centrales eléctricas del país, que han evaluado los sistemas de tratamiento de residuales líquidos oleosos, corroborándose que dichos sistemas de tratamiento también presentan deficiencias técnicas y de diseño, que no permiten que el efluente cumpla con los LMPP, establecidos por la legislación vigente, para su vertimiento al medio [20].

En la figura 3 se muestra el análisis causal respecto a la contaminación con hidrocarburos asociada a los principales hallazgos en el manejo de residuales oleosos de la instalación. Los derrames de hidrocarburos, el aumento de la carga al sistema y las tupiciones fueron los principales modos de fallo del sistema, pudiendo manifestarse a partir de la ocurrencia de más de 30 causas de diversa naturaleza.

Las principales causas que inciden sobre la problemática descrita, resultaron del NPR de la matriz AMEF. En el subsistema A fueron: falta de elementos de contención en el área de motores; canales de combustible sin trampa de hidrocarburos o elementos de contención antes de la descarga final y registro a la salida del cuarto de aceites sin evacuación. Por su parte, el subsistema B arrojó que el impermeabilizado defectuoso en el piso del cubeto de los tanques de recepción de combustible, las tuberías de alimentación a nivel superficial y las infiltraciones al subsuelo fueron los principales hallazgos en el foso oleaginoso. En el caso de la trampa de hidrocarburos fueron las interconexiones entre compartimentos sin respiradero ni codo de sumersión, las dimensiones e interconexiones con diámetros inadecuados así como la falta de control, limpieza y mantenimiento.

Se propuso un plan de medidas correctivas, que contó con 27 soluciones de ingeniería ambiental, con base en los principios de Producción Más Limpia, específicamente de reducción en la fuente de origen de los residuos, la reutilización a partir de recuperación de hidrocarburos y aceites, así como el reciclado como aceites usados. De ellas, se clasificaron como soluciones técnico-organizativas 19 y 8 dentro de las que requieren inversiones.

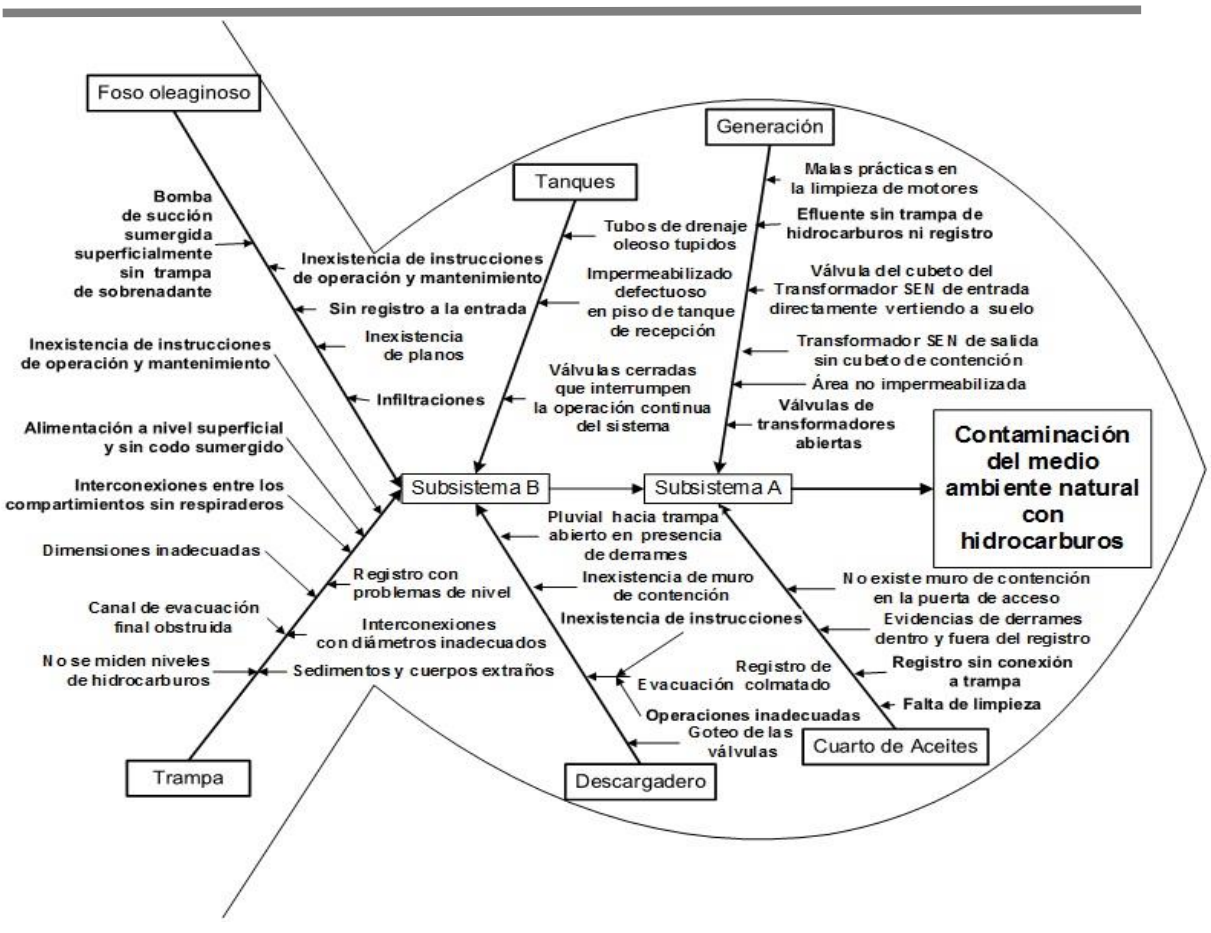

Fig. 3. Diagrama causa-efecto para la contaminación por hidrocarburos del sistema del grupo electrógeno de diésel de Cruces

Entre las soluciones que requieren inversiones se destacan la construcción de una trampa de hidrocarburos al final de la canal de combustibles del área de generación y la remodelación de la trampa de hidrocarburos existente en el área de combustibles, de acuerdo con los criterios de diseño para residuos oleosos. También se señaló que se deben corregir los sistemas de interconexiones y canalizaciones en cuanto a dimensiones, ubicación en cada órgano o elementos de contención, así como la impermeabilización de sus superficies.

Las soluciones técnico-organizativas contemplaron la introducción de buenas prácticas en el manejo de residuos oleosos, incluida la operación, limpieza y mantenimiento de los órganos de tratamiento y sistemas de canalizaciones. Además se concibió el diseño de procedimientos para el control operacional de los órganos de tratamiento.

Dada la baja eficiencia y eficacia de los sistemas de tratamiento primario en trampas de hidrocarburos, puesto que solo separan los hidrocarburos libres y

no los disueltos y emulsificados, unido a que la eliminación segura de los lodos oleosos generados en tanques de almacenamiento y el tratamiento de aguas residuales es uno de los mayores desafíos de los generadores de residuos oleosos [21]. Entonces es recomendable que a mediano plazo se introduzcan tecnologías de tratamiento secundario que aseguren la calidad del residual dispuesto al cuerpo receptor [21,23].

Conclusiones

Implementar un programa de auditoría sobre el manejo de los residuales oleosos en el grupo electrógeno de diésel de Cruces permitió obtener evidencias acerca de la contaminación que la entidad genera sobre los cuerpos receptores a los que tributa.

Se obtuvieron evidencias acerca del estado, funcionalidad, operación y mantenimiento del sistema y se evaluaron objetivamente los modos de fallo del mismo. Con ello se pudieron evaluar los criterios de la auditoría y por consiguiente se determinaron los problemas que dieron lugar a las acciones correctivas. Estas últimas resultaron en 19 soluciones técnico-organizativas y 8 inversiones que contribuyen a la mejora en el manejo de los residuales oleosos del grupo electrógeno.

El proceder utilizado es una guía generalizable a otros grupos electrógenos del territorio y el país y con ello se contribuye a la sostenibilidad en la generación distribuida de energía eléctrica.

Referencias bibliográficas

1. ONU. *Transforming Our Worl: The 2030 Agenda for Sustainable Development* [en línea]. United Nations Organization, 2015. Consultado el: 04 de abril de 2019. Disponible en: http://www.sustainabledevelopment.un.org. pp. 1-40.

2. COCÂRTĂ, D.M., STOIAN, M.A. y KARADEMIR, A. “Crude Oil Contaminated Sites: Evaluation by Using Risk Assessment Approach” [en línea]. Sustainability. 2017. Vol. 9, 1365 105-11 Consultado el 02 de marzo de 2018. Disponible en: www.mdpi.com/2071-1050/9/8/1365/pdf ISSN 2071-1050. pp. 1-16.

3. PÉREZ, J., VIGUERAS, S., ZAMUDIO, E., RIVERA, N, CALVA, G. "Bioremediation of soils from oil spill impacted sites using Bioaugmentation with biosurfactants producing, native, Free-living nitrogen fixing bacteria" [en línea]. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental 2017*. **33** (Especial Biotecnología e ingeniería ambiental) 105-11 Consultado el: 08 de mayo de 2019. Disponible en: www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/download/RICA.2017.33.esp01.09/46648 ISSN 0188-4999. pp. 105-114.

4. LLANES, E. "Análisis del ciclo de vida como herramienta para la evaluación del comportamiento ambiental de un proceso. Caso de estudio central eléctrica de fuel oil 110 kv en la provincia de Granma-Cuba." [en línea]. Revista Científica y Tecnológica UPSE. 2017 Vol. IV No. 2, p. 37-45, junio. Consultado el: 09 de marzo de 2018. Disponible en: https://incyt.upse.edu.ec/revistas/index.php/rctu/article/view/225 ISSN 1390-7697. pp. 37-45.

5. ONEI. *Electricidad en Cuba. Indicadores seleccionados enero-diciembre 2016* [en línea]. Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI). Centro de Gestión de la Información Económica, Medioambiental y Social. Ed. mayo 2017. Consultado el: 20 de marzo de 2017. Disponible en: http://www.one.cu/publicaciones/04industria/prodconselectricidad/ProdConsElectDici16.pdf pp.1-14.

6. RODRÍGUEZ, B., FERNÁNDEZ, M. y FERNÁNDEZ, N. "Análisis del ciclo de vida de la generación distribuida en la provincia de Cienfuegos" [en línea]. Ingeniería Energética. 2014 Vol. XXXV, 3, p. 274-285, Septiembre/Diciembre. Consultado el: 10 de noviembre de 2017. Disponible en: http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/412/429 ISSN 1815 – 5901. pp. 274-285.

7. MEDEL, G., GARCÍA, L., HERNÁNDEZ, C. Y MEDEL, M. "Procedimiento para la evaluación del desempeño ambiental: aplicación en el sector energético cubano" [en línea]. Gestão & Produção. 2015. Vol. 22. No.3 São Carlos jul. /set. Consultado el: 05 de enero de 2018. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2015000300463&lng=es&tlng=es ISSN 0104-530X. pp. 1-17.

8. DE CARVALHO, S. A., COSTA, C. Y PILAU, L.L. "Auditoria Ambiental ou Ecoauditoria: Um Instrumento de Sustentabilidade e Gestão Ambiental" [en línea]. Revista FSA (Facultade Santo Agostinho). 2016. **13**(3), Art. 7, p. 125-143, mai./jun. Consultado el: 13 de septiembre de 2019. Disponible en: http://www4.fsanet.com.br/revista/index.php/fsa/article/view/1035/899 ISSN 2317-2983.pp.125-143.

9. ISO. Guidelines for auditing management systems. ISO 19011, 2018. International Standard Organization. Ginebra, Suiza: Consultado el: 16 de febrero de 2019. Disponible en: http://qic-eg.com/wp-content/uploads/2015/08/BS-EN-ISO-19011-2011.pdf pp.1-56.

10. GUTIÉRREZ, H. Y DE LA VARA, R. *Control estadístico de calidad y seis sigma.* 3ra ed. México: Mc Graw Hill. 2013. ISBN: 978-607-15-0929-1. Consultado el: 19 de noviembre de 2016. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Humberto_Gutierrez_Pulido/publication/278678991_2013ControlEy6Sigma3EdResumen2/links/55833af608aefa35fe30b889/2013ControlEy6Sigma3EdResumen2.pdf, pp.1-468

11. ONN. Manejo de fondaje de tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados. NC 819, 2017. Oficina Nacional de Normalización (ONN). La Habana, Cuba. pp. 1-19.

12. ONN. Vertimiento de aguas residuales a aguas terrestres y al alcantarillado-Especificaciones. NC 27, 2012. Oficina Nacional de Normalización (ONN). La Habana, Cuba. pp. 1-14.

13. ONN. Industria del petróleo - Aceites lubricantes usados-Especificaciones. NC TS 1067, 2015. Oficina Nacional de Normalización (ONN). La Habana, Cuba. pp. 1-24.

14. SEMARNAT. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación. NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012. 2da ed. México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2013. Consultado el: 15 de agosto de 2016. Disponible en: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6646/1/nom-138-semarnat.ssa1-2012.pdf pp.1-16.

15. TERRY, C. C., GUTIÉRREZ, J. y ABÓ, M. *Manejo de aguas residuales en la gestión ambiental*. 1ra ed. La Habana, Cuba: Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA), 2010. 121 p. ISBN: 978-959-287-023-9. Consultado el: 26 de octubre de 2016. Disponible en: http://www.proyesc.cu/informes/Manejos_Aguas_residuales.pdf pp. 1-121.

16. SÁNCHEZ-RIVERA, W. "Propuesta de mejoras en sistemas de tratamiento de residuales en la Empresa Refinadora de Aceite de Santiago de Cuba" [en línea], revista *Tecnología Química*. 2018. **38**(1) Art. 7 Consultado el: 05 de abril de 2018. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104530X2015000300463&lng=es&tlng=es ISSN: 2224-6185. pp. 85-100.

17. ITOPF. *Destino de los derrames de hidrocarburos en el medio marino.* Impact PR & Design Limited. Documento de Información Técnica 2. London. United Kingdom. The International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF). 2011. Consultado el: 8 de septimbre de 2016. Disponible en: http://www.itopf.com/es/knowledge-resources/documents-guides/document/2-destino-de-los-derrames-de-hidrocarburos-en/ pp.1-12.

18. AWAIS, M., SHAFIQ, U., MUKHTAR, A. y MEHMOOD, M. "Design of Industrial Gravity Type Separators for the Hydrocarbons and Heavy Oil-Water Separations" [en línea]. Research Journal of Chemical Sciences. 2015. Vol. 5(9). Consultado el: 3 de junio de 2017. Disponible en: https://www.researchgate.net /publ i cat i on/282326383 ISSN: 2231-606X. pp. 72-75.

19. PIAO, L., KIM, N. y PARK, H. J. "Effects of geometrical parameters of an oil-water separator on the oil-recovery rate" [en línea]. Journal of Mechanical Science and Technology. 2017. Vol. 31. Consultado el: 4 de febrero de 2018. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s12206-017-0526-1 ISSN: 1976-3824. pp. 2829-2837.

20. MARTÍNEZ-NODAL, P. D. L. C., MARTÍNEZ-DÍAZ, L., RODRÍGUEZ-RICO, I. L., ROSA-DOMÍNGUEZ, E. y MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, R. "Evaluación del sistema tratamiento de residuales líquidos generados en una central eléctrica operando con "fuel oil". Alternativas tecnológicas" [en línea]. *Revista Tecnología Química*. 2018. **38**(1) Art. 12 Consultado el: 05 de junio de 2018. Disponible en:

https://revistas.uo.edu.cu/index.php/tq/article/view/3235 ISSN: 2224-6185. pp. 153-168.

21. SANGEETHA, J. y THANGADURAI D. "Effect of Biologically Treated Petroleum Sludge on Seed Germination and Seedling Growth of Vigna unguiculata (L.) Walp. (Fabaceae)" [en línea]. Brazilian Archives of Biology and Technology. 2014. **57**(3). Consultado el: 20 de mayo de 2018. Disponible en: http://www.scielo.br/pdf/babt/v57n3/cd_1399.pdf ISSN: 1678-4324. pp. 427-433.

22. YU, L., HAN, M. Y HE, F. "A review of treating oily wastewater" [en línea]. *Arabian Journal of Chemistry.* 2017**. 10,** Supplement 2. Consultado el: 03 de mayo de 2018. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535213002207 ISSN: 1878-5352. pp. S1913-S1922.

23. NONATO, T. C. M., DE A ALVES, A. A., SENS, M. L. y DALSASSO, R. L. "Produced water from oil - A review of the main treatment technologies" [en línea]. *Journal of Environmental Chemestry & Toxicology.* 2018. **2** (1). Consultado el: 10 de marzo de 2018. Disponible en: https://www.pulsus.com/scholarly-articles/produced-water-from-oil--a-review-of-the-main-treatment-technologies.pdf ISSN: En trámite. pp. 23-27.

Agradecimientos

Reconocimiento a la Ing. Gretter Teresa Santana Orozco por sus contribuciones al desarrollo de este trabajo.