

Propuesta de mejora a un sistema integral de tratamiento de aguas en una terminal logística de combustibles: un estudio de caso

Improvement proposal for an integrated water treatment system: case study at a fuel logistics terminal

A. A. Conde-Islas¹ , F. M. Garcés-Chávez¹ , C. M. Pérez Macario¹ , J. J. A. Flores Cuautle² * 
(*jflores_cuautle@hotmail.com)

Recibido: 4 de abril de 2025 Aceptado: 2 de octubre de 2025

RESUMEN

Este trabajo presenta el estudio de caso de una terminal logística de combustible para proponer mejoras en su sistema integral de tratamiento de aguas. Actualmente las aguas sanitarias son tratadas en un biodigestor anaerobio, mientras que las aguas pluviales y aceitosas son tratadas en una fosa tipo API. Al término de su tratamiento son vertidas al drenaje sin un aprovechamiento aparente. El estudio analizó las condiciones de operación de las instalaciones y propone una actualización del sistema para permita el aprovechamiento de estas aguas en la contención de incendios. Adicionalmente, se sugiere la instalación de un desnatador (skimmer) para la recuperación de aceites, grasas y otros contaminantes, así como un sistema hidráulico diseñado para prevenir riesgos de ignición. La implementación de estas medidas busca promover un uso sostenible del recurso hídrico reduciendo los costos de consumo de agua potable y contribuyendo a la seguridad operativa de la terminal al garantizar una fuente de agua adicional contra incendios.

Palabras clave: *aguas sanitarias, aguas pluviales, aguas aceitosas, biodigestor anaerobio, fosa API*

ABSTRACT

This work presents a case study of a fuel logistics terminal to propose improvements to its integrated water treatment system. Currently, sanitary water is treated in an anaerobic biodigester, while rainwater and oily water are treated in an API separator. After treatment, they are discharged into the drainage

¹Instituto Tecnológico de Orizaba. Oriente. 9, Emiliano Zapata, 94320 Orizaba, Ver.

²SECIHTI- Instituto Tecnológico de Orizaba. Oriente. 9, Emiliano Zapata, 94320 Orizaba, Ver.



system with no apparent reuse. The study analyzed the operating conditions of the facilities and proposes an update to the system to allow for the use of this water in fire suppression. Additionally, the installation of a skimmer is suggested for the recovery of oils, grease, and other contaminants, as well as a hydraulic system designed to prevent ignition risks. The implementation of these

measures will promote the sustainable use of water resources, reducing the costs of potable water consumption and contributing to the operational safety of the terminal by guaranteeing an additional water source for firefighting.

Keywords: *Sanitary wastewater, rainwater, oily water, anaerobic biodigester, API separator*

INTRODUCCIÓN

Se denomina agua residual a aquella que ha sido empleada por el ser humano y que además ha sido afectada en su calidad [1]. Para su estudio, este tipo de agua puede dividirse de acuerdo con su origen en aguas sanitarias, industriales, agrícolas y urbanas. El origen del agua residual es vital para poder ser tratada, ya que el origen determina el tratamiento requerido y permite identificar los posibles contaminantes.

La composición de las aguas residuales es muy variada, de allí la importancia de su clasificación. Por ejemplo, las aguas sanitarias suelen estar libres de sustancias peligrosas, en tanto que las industriales suelen tener una alta carga de contaminantes, así como un alto nivel de toxicidad.

Por otro lado, los sistemas de tratamiento de aguas residuales suelen estar enfocados a un tipo de origen en particular; esto es aún más patente en instalaciones con varios años de trabajo. En este trabajo se toma una planta de tratamiento de aguas residuales como caso de estudio y al mismo tiempo se propone una actualización del sistema de tratamiento de aguas con el que cuenta para mejorar el tratamiento de aguas sanitarias, pluviales y aceitosas.

Entre los retos que se presentan en las plantas de tratamiento de aguas residuales se pueden mencionar los siguientes: fallas en los equipos, desde los tanques de sedimentación, filtros y cloradores, lo cual puede impedir la adecuada operación; así mismo es posible encontrar deficiencias y malas prácticas en el mantenimiento [2]. Este tipo de situaciones puede resultar en un desempeño ineficiente y, en el peor de los casos, en paros de operación; los altos costos de construcción y los altos costos de operación son significativos, por lo cual el mantenimiento y la remodelación de este tipo de plantas se dificultan.

Aunado a las dificultades técnicas se suman factores administrativos, así como factores ambientales y externos. Eventos tales como lluvias extremas o inclusive sequías afectan el rendimiento normal de las plantas de tratamiento, incrementando la turbidez y el nivel de contaminantes [3]. Así mismo, la aparición de nuevos contaminantes hace necesaria la implementación de nuevas y mejores técnicas para

el tratamiento de dichos contaminantes [4].

Dentro del contexto de una terminal logística de combustibles, la dependencia de la red pública para el abastecimiento de agua en sus tanques de almacenamiento para incendios representa un riesgo considerable y costo operativo elevado. La escasez de agua, los cortes de servicio o el consumo constante de grandes volúmenes de agua para procesos industriales y, críticamente para sistemas de contención de incendios, justifica la búsqueda de soluciones alternativas. En este sentido, la reutilización del agua tratada no solo reduce el impacto ambiental, sino que también garantiza la disponibilidad del recurso hídrico vital, fortaleciendo la seguridad y la resiliencia operativa de la instalación.

CASO DE ESTUDIO

Las instalaciones de una terminal logística de combustible localizada en la región Córdoba-Orizaba sirvieron como caso de estudio. El sistema de tratamiento de aguas residuales con el que cuenta esta instalación se divide en dos partes de acuerdo con el tipo de aguas a tratar. Por un lado, las aguas sanitarias y, por el otro, las aguas del drenaje pluvial y aceitosas, cada una de estas partes con sus propias particularidades.

En el caso de las aguas sanitarias, estas pasan por un pretratamiento que incluye el uso de rejillas de desbaste de residuos gruesos y finos. Las rejillas de desbaste son dispositivos que actúan como filtros físicos para retener sólidos presentes en el agua, como plásticos, ramas, piedras, papeles y otros desechos. Las rejillas de residuos gruesos capturan partículas grandes, mientras que las de residuos finos retienen sólidos más pequeños. Posteriormente, el agua pretratada se dirige a un biodigestor anaerobio, que es un sistema cerrado donde los microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Durante este proceso, se generan dos productos principales: el biogás y un efluente tratado, que es un líquido con menor carga contaminante.

Para el tratamiento de las aguas pluviales y aceitosas, se inicia con un pretratamiento que se lleva a cabo en un registro con un filtro de acero inoxidable que retiene sólidos grandes. Posteriormente, el agua es dirigida a un sistema conocido como fosa tipo API que recibe este nombre porque su diseño está basado en los estándares publicados por el Instituto Americano del Petróleo (*American Petroleum Institute*) [5]. Este equipo está diseñado específicamente para separar las sustancias aceitosas del agua, lo cual es fundamental en casos donde las aguas pluviales puedan estar contaminadas con residuos de combustibles, lubricantes u otros derivados del petróleo. La fosa API funciona aprovechando la diferencia de densidad entre el agua y aceites presentes. Al ingresar el agua pluvial a la fosa, los aceites, al ser menos densos, flotan y se acumulan en la superficie, mientras que el agua, más pesada, permanece en la parte inferior. Este equipo opera bajo procedimientos de monitoreo continuo. Se mantienen las válvulas abiertas, se extraen residuos, se mide el pH y la temperatura cada dos horas, y se recupera el aceite.

Tratamiento de aguas sanitarias

Las aguas sanitarias provenientes de las oficinas (baños, cocina y lavabos) contienen sólidos orgánicos e inorgánicos que requieren tratamiento antes de su descarga, con el fin de evitar riesgos ambientales y sanitarios. Esta agua sanitaria es recolectada en una pileta de carga proveniente de los cárcamos de bombeo para su tratamiento; dicha descarga lleva un pretratamiento con apoyo de filtros tipo reja para separar sólidos, dependiendo el tamaño de partícula. Posteriormente, el agua es bombeada a un biodigestor anaerobio, donde ingresa a otra pileta de carga para continuar con el proceso de tratamiento mediante digestión anaerobia, cuyo funcionamiento se basa en la degradación orgánica en ausencia de oxígeno.

El proceso operativo del pretratamiento y tratamiento anaerobio de estas aguas se muestra en la Figura 1.

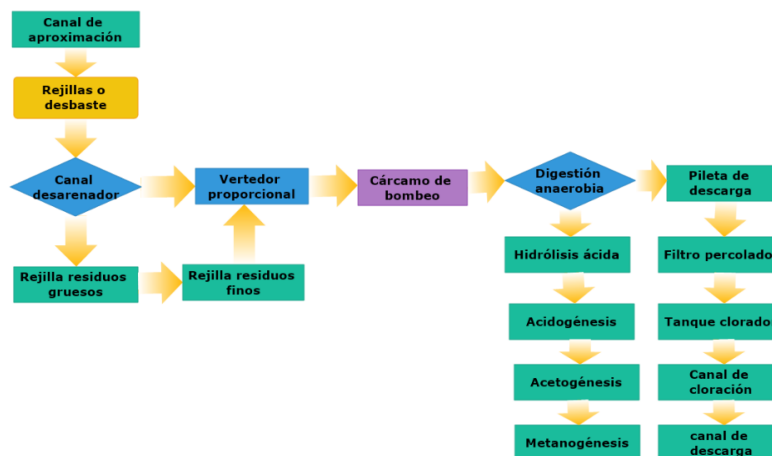


FIGURA 1. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas sanitarias. Fuente: Elaboración propia.

El biodigestor anaerobio de la terminal logística de combustible consta de siete secciones: 1) pileta de carga, 2) digestor, 3) filtro percolador, 4) pileta de descarga, 5) tanque clorador, 6) canal de cloración y 7) canal de descarga. Este equipo y el perfil hidráulico se ilustran en las Figuras 2a y 2b.

Tratamiento de aguas pluviales y aceitosas

Las aguas de drenaje pluvial y aceitosas de la terminal son aguas provenientes del agua de lluvia que escurren en la superficie del terreno, y de residuos oleosos que escurren en la superficie del terreno. Estos flujos son recolectados a través de un registro que se encuentra conectado a la fosa API. El registro cuenta con un filtro circular de acero inoxidable que retiene sólidos de mayor tamaño como hojas secas, ramas de árboles y algún otro tipo de material como bolsas plásticas que pudieran afectar los procesos

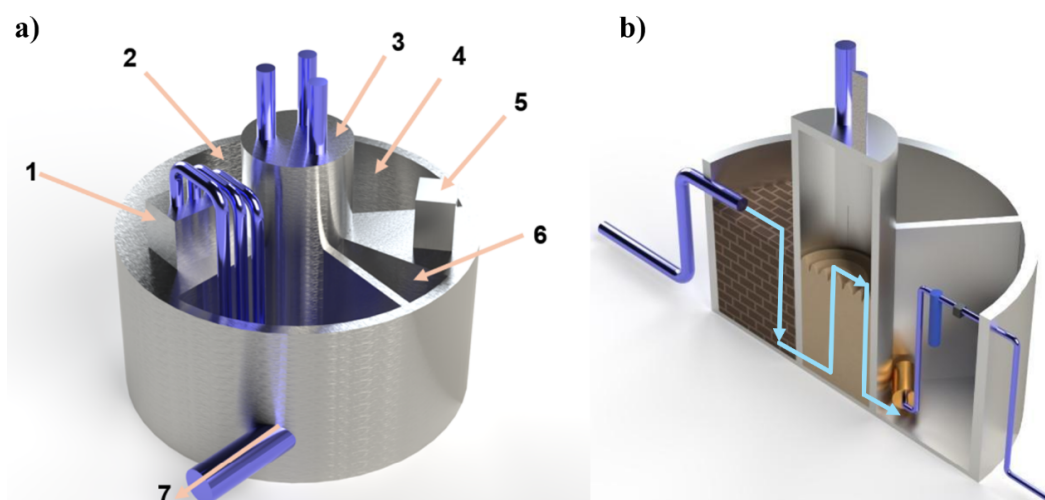


FIGURA 2. a) Esquema general del Biodigestor anaerobio instalado en la terminal, b) Perfil hidráulico del digestor del sistema de tratamiento anaerobio, la línea azul muestra el flujo hidráulico.
Fuente: Elaboración propia.

de tratamiento posteriores. En este filtro, aunque retiene algunos sólidos, la limpieza y mantenimiento son complicados debido a su ubicación. Para su limpieza y mantenimiento, los operadores se ven en la necesidad de descender hacia el interior de la fosa y tratar de desprender los sólidos que se quedan adhesivos en el filtro, llegando a hacer uso de palos o tubos para intentar extraer los sólidos retenidos.

Posteriormente, el agua es dirigida a la fosa API donde se lleva a cabo la separación de las fases oleosa y acuosa, permitiendo la eliminación de los aceites presentes. En la Figura 3 se presenta el esquema general de la fosa API de esta terminal.

PROPUESTA DE MEJORA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO

A través del trabajo colaborativo con las áreas de Mantenimiento y de Seguridad Industrial y Protección Ambiental de esta terminal, se realizaron recorridos para conocer los procesos operativos y administrativos relacionados con los sistemas de tratamiento de aguas en la terminal, lo que permitió identificar puntos de partida para implementar mejoras que a futuro puedan mejorar la eficacia y eficiencia de las aguas tratadas, obtenidas tras los procesos físicos y bioquímicos aplicados.

Biodigestor anaerobio

El biodigestor anaerobio es uno de los sistemas más eficientes para el tratamiento de aguas sanitarias. Cuando opera bajo las condiciones adecuadas, este sistema logra eliminar entre un 70 y 90 % de la materia orgánica del agua residual, obteniendo un agua residual que puede ser ya descargada a cuerpos receptores. Por lo que se propone el aprovechamiento de este recurso hídrico, complementando el proceso actual para

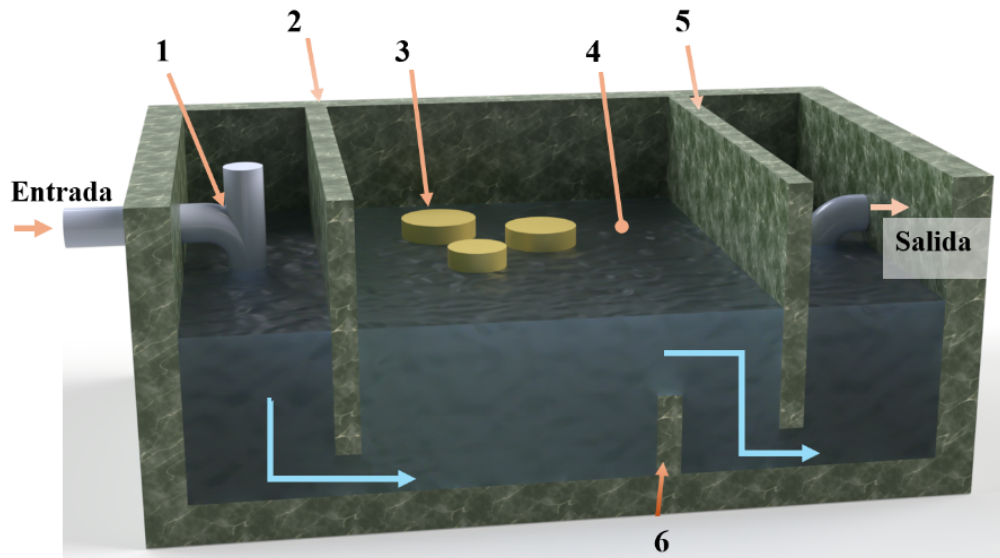


FIGURA 3. Esquema general de la Fosa API para el tratamiento de aguas pluviales y aceitosas de la terminal. 1 “T” para inspección y muestreo, 2 deflector para distribución de flujo, 3 Removedor de aceites (skimmer), 4 compartimento de separación de aceites, 5 deflector de retención de aceite, 6 deflector para eliminación de lodos. Fuente: Elaboración propia.

redirigir el agua hacia otros usos, como su almacenamiento en tanques verticales contra incendios.

Una opción viable es incorporar una cámara de luz UV-C, la cual podría elevar la eficacia de la limpieza del agua al eliminar microorganismos patógenos de manera más efectiva. Esto tomando como referencia el trabajo realizado por Rossel [6], quienes llevaron a cabo pruebas para la desinfección y reducción de la carga bacteriana en agua cruda empleando tubos fluorescentes de radiación UV-C con una longitud de onda entre 200 nm y 280 nm. Rossel y colaboradores reportan que es posible reducir una carga bacteriana inicial de 200 Unidades Formadoras de Colonia por cada 100 mL (UFC/100 mL) de coliformes totales a 0 UFC/100 mL con exposiciones de 4 segundos. En el caso de los coliformes fecales, demostraron que es posible reducir dicha materia de 21 y 5 UFC/100 mL en agua sin tratamiento, obteniendo una carga final de 0 UFC/100 mL. Además, se podría aprovechar el agua tratada para recircular en los tanques verticales de agua contra incendios, lo que no solo mejoraría la eficiencia del sistema, sino que también contribuiría a un uso más sostenible de los recursos hídricos.

Es recomendable emplear las condiciones establecidas por Rossel y colaboradores en el canal de descarga con un tiempo de exposición de al menos 4 segundos, como complemento del biodigestor. Al realizar dicha modificación dentro de la pileta de descarga, el proceso operativo del biodigestor quedaría como se observa en la Figura 4.

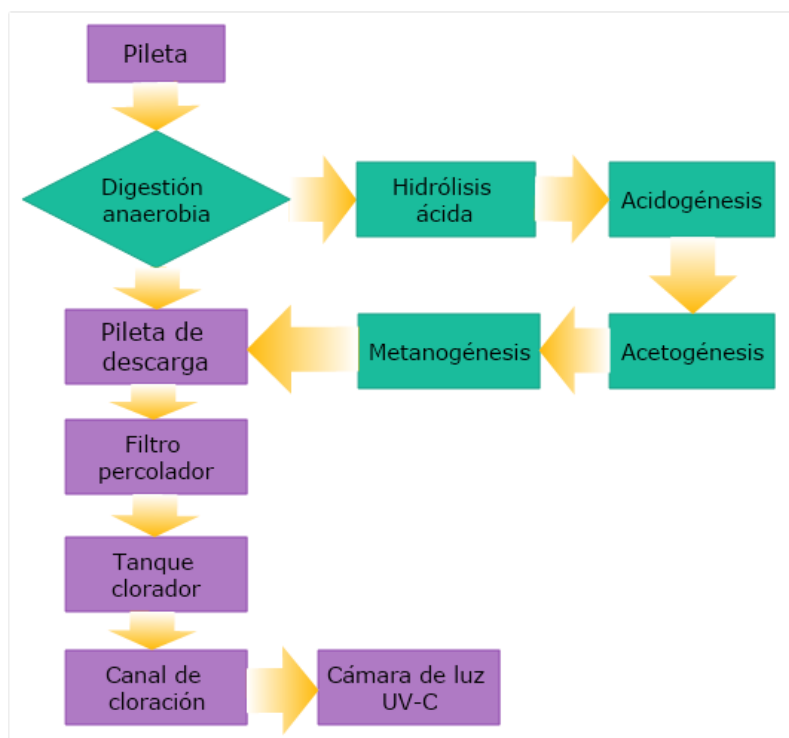


FIGURA 4. *Proceso dentro del biodigestor con implementación de cámara UV-C. Fuente: Elaboración propia.*

Fosa API

Bajo las condiciones actuales, el filtrado en la fosa API comienza con la recepción del drenaje aceitoso en un registro equipado con un filtro de acero inoxidable diseñado para retener partículas sólidas. A continuación, el fluido es conducido hacia un segundo registro, el cual cuenta con una válvula de guillotina que regula el caudal del líquido. Finalmente, el fluido ingresa a la fosa API, donde se realiza la separación de fases por diferencia de densidades.

En el filtro de acero inoxidable es donde se identifica una oportunidad de mejora, ya que, en muchos de los casos, los operadores tienen que entrar a la fosa y, con el uso de herramientas manuales como palos y tubos, tratar de retirar los sólidos que se quedan pegados en este filtro. Para ello se propone la implementación de un filtro de forma cilíndrica de malla de acero inoxidable, ubicado en la tubería del canal de drenaje aceitoso debajo de la tapa de registro y sujetado de manera firme con ayuda de una abrazadera. Dicho filtro tendrá la finalidad de retener los sólidos y facilitar su limpieza, dado que la mayoría de los sólidos quedarían contenidos en su interior. En la Figura 5 se muestra un prototipo del filtro y su respectiva ubicación en el registro.



FIGURA 5. *Propuesta del prototipo del filtro ubicado en la entrada del registro que conecta a la fosa API. Fuente: Elaboración propia.*

Por otro lado, el sistema de succión utilizado actualmente para recuperar los combustibles en el canal de flotación es lento y arrastra agua, por lo cual se propone complementar el proceso con un sistema denominado *skimmer*, el cual es utilizado para la recuperación de aceites, grasas y otros contaminantes presentes en el agua. Adicionalmente, se debe considerar utilizar un sistema hidráulico, esto con la finalidad de evitar alguna chispa o flama que puedan propiciar accidentes e incendios por las características

propias de la terminal, ya que se pueden llegar a generar vapores explosivos. En la Figura 6 se presenta un prototipo del sistema propuesto.

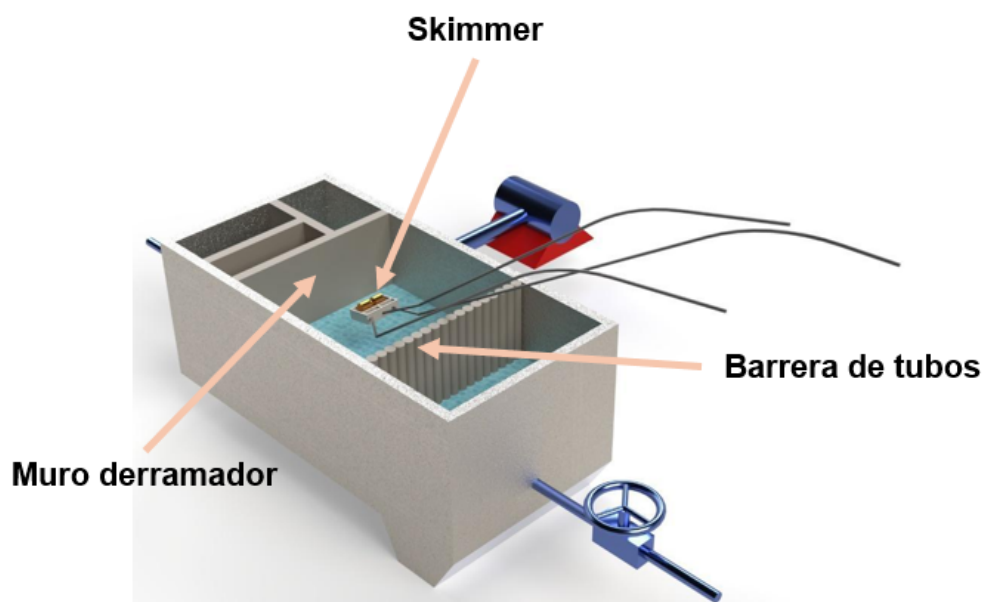


FIGURA 6. Sistema de fosa API con implementación de skimmer. Fuente: Elaboración propia.

Aprovechamiento de los recursos hídricos

Después de proponer las mejoras individuales del biodigestor anaerobio y de la fosa API, se plantea realizar una recirculación del agua hacia los tanques verticales contra incendios. Esto con la finalidad de optimizar y aprovechar el recurso hídrico. La distancia de la salida del biodigestor a los tanques aireadores es de 7 metros, por lo que será necesaria una conexión de tubería de PVC de al menos 4 pulgadas de diámetro. Finalmente, esta agua proveniente del digestor se mezclará con el agua de la fosa API que previamente ha pasado por una etapa de filtración y skimmer adicionales propuestos. El efluente combinado será dirigido hacia los tanques de aireación, en donde se oxigena para mejorar sus propiedades físico-químicas y biológicas asegurando así su calidad antes de la disposición final.

Esta propuesta está fundamentada tomando en cuenta los marcos normativos como la NOM-001-SEMARNAT-2021 y NOM-003-SEMARNAT-1997 que, aunque estas normas establecen los límites de descarga de aguas residuales en cuerpos de agua, su cumplimiento valida la calidad del efluente final para un posterior aprovechamiento. Esta propuesta busca asegurar que el agua cumpla con los parámetros necesarios para ser considerada como un recurso para fines no potables; así mismo, la NOM-006-ASEA-2017 establece los requerimientos de seguridad para instalaciones como las presentadas en este estudio de

caso donde, dentro del apartado de los sistemas de seguridad industrial y protección ambiental, considera el tema de agua contra incendios, haciendo mención que el agua no necesariamente debe ser potable, pero sí libre de sólidos o sedimentos que obstruyan tuberías, bombas o boquillas. Por último, las propuestas de mejora quedarían establecidas en la Figura 7.

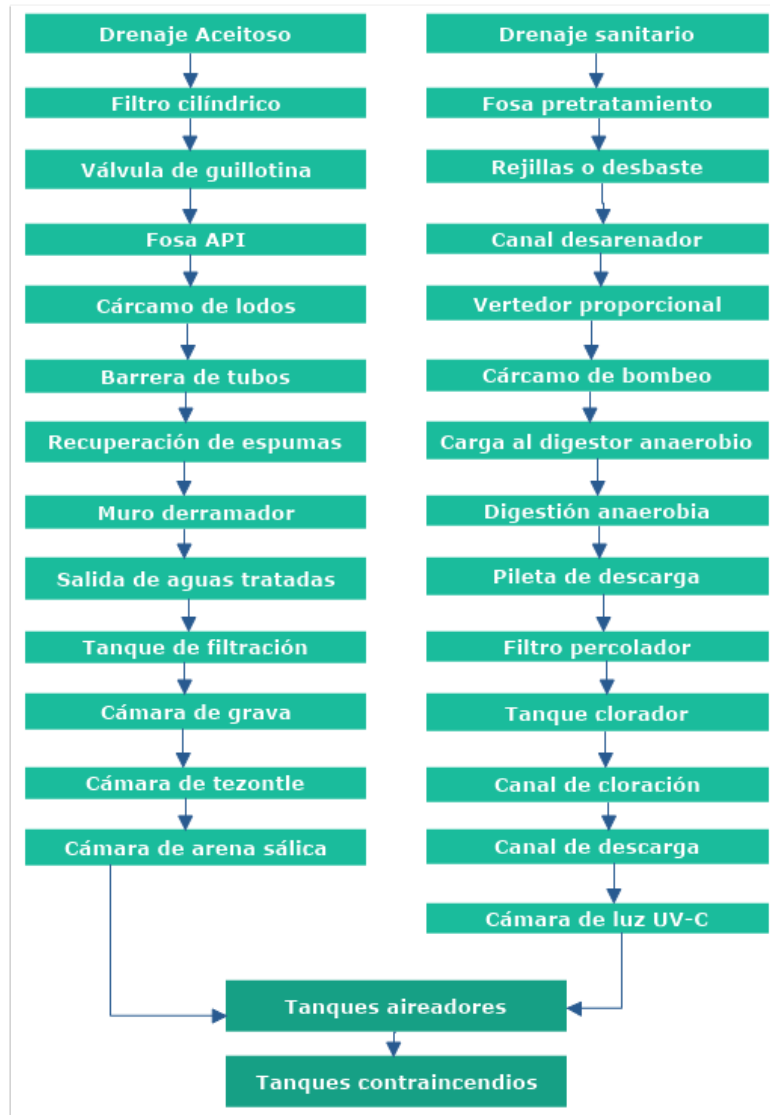


FIGURA 7. Propuesta de un sistema integral de tratamiento de aguas para la terminal logística de combustible. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Tomando como caso de estudio una instalación federal, se analizaron las condiciones bajo las que opera este tipo de instalaciones. A pesar de que el estudio fue realizado sobre una instalación en particular, los

resultados y propuestas planteadas en este caso de estudio pueden extrapolarse a instalaciones de este tipo.

Bajo la premisa de reducir el impacto de las descargas de agua hacia el drenaje sanitario, se ha propuesto la implementación de un tratamiento por separado de aguas residuales y aguas aceitosas, esto con la finalidad de incrementar la eficacia en el tratamiento de estas. Con la implementación de las sugerencias hechas en este trabajo, se podría reducir significativamente el consumo de agua potable, esto permitiría dar un uso a descargas que en este momento se dirigen al drenaje. La implementación de estas medidas contribuye no solo al manejo sostenible del recurso hídrico, sino que reduce los costos de operación al reducir el consumo de agua potable proveniente de la red pública. El agua tratada cuenta con la suficiente calidad para ser empleada en los tanques contra incendios, por lo cual se contribuye a la seguridad en las condiciones operativas de este tipo de instalaciones.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE AUTORES Y COLABORADORES

F. M. Garcés-Chávez y C. M. Pérez Macario: Metodología, investigación, recopilación de datos y borrador original. **A. A. Conde-Islas y J. J. A. Flores Cuautle:** Conceptualización, análisis formal, escritura, revisión y edición.

REFERENCIAS

- [1] S. F. Soares, T. Fernandes, T. Trindade, and A. L. Daniel-da Silva, “Recent advances on magnetic biosorbents and their applications for water treatment,” *Environmental Chemistry Letters*, vol. 18, no. 1, pp. 151–164, 2020.
- [2] I. B. Fakayode and A. A. Ogunjobi, “Quality assessment and prevalence of antibiotic resistant bacteria in government approved mini-water schemes in southwest, nigeria,” *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 133, pp. 151–158, 2018.
- [3] J. Kim, C. Hua, S. Lin, S. Kang, J. H. Kang, and M. H. Park, “Deep learning-based coagulant dosage prediction for extreme events leveraging large-scale data,” *Journal of Water Process Engineering*, vol. 66, p. 105934, 2024.
- [4] D. J. da Silva and D. S. Rosa, “Chromium removal capability, water resistance and mechanical behavior of foams based on cellulose nanofibrils with citric acid,” *Polymer*, vol. 253, p. 125023, 2022.
- [5] Ecopetrol S.A., “Diseño de la automatización del separador api para la recuperación de hidrocarburos refinados mediante skimmer en ecopetrol s.a.” Ecopetrol S.A., Colombia, Tech. Rep., 2021.

- [6] L. J. Rossel Bernedo, L. A. Rossel Bernedo, F. P. Ferro Mayhua, A. L. Ferro Gonzales, and R. R. Zapana Quispe, “Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable,” *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, vol. 22, no. 1, pp. 68–77, 2020.