

ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS SISTEMAS DE MANEJO Y DISPOSICIÓN DE AGUAS DE EFLUENTES EN PATIOS DE TANQUES DEPDVSA OCCIDENTE

Realizado por:
Ing. Christian Alvarado / Correo: chrisyianap1503@gmail.com
Ing. Bárbara Cifuentes / Correo: cifuentesb2308@gmail.com
Ing. Juanda Durán / Correo: yumerly.juanda@gmail.com

Tutor Académico:
Dr. Roberto Ruiz / Correo: raruiz1@urbe.edu.ve

Tutor Metodológico:
Dra. María Gómez / Correo: mtgomez@urbe.edu.ve

En los entornos industriales, el manejo y disposición de los efluentes conlleva riesgos potenciales para la integridad de las instalaciones, la calidad del agua y el cumplimiento de las normativas del ambiente. Para llevar a cabo este proceso se requiere la recolección y separación de los diferentes tipos de efluentes generados, el tratamiento para reducir su toxicidad y finalmente su disposición según sea su posterior uso.

Los patios de tanques de una industria petrolera son instalaciones donde se almacenan, manejan y transportan grandes volúmenes de productos petrolíferos. En estos patios se efectúa la recolección de la producción de crudo proveniente de las estaciones de flujo asociadas a él, conformando un punto significativo dentro del proceso de manejo, para la limpieza del petróleo.

Por su parte, los tanques ubicados en los patios tienen como uso principal servir para el transporte y almacenamiento del crudo proveniente del campo petrolero, pero además son equipos claves en el proceso de deshidratación del petróleo, ya que efectúan el decantado del crudo, para producir la separación de éste con las aguas asociadas a él.

Continuamente se procede a la aplicación de los procedimientos respectivos al agua recuperada y al crudo restante; donde, una vez aplicado su posterior tratamiento se procede a la reutilización del agua siendo inyectada en los yacimientos, o siendo vertidas en los cuerpos de agua. De esta manera se determina que las aguas de efluentes son producto del proceso de deshidratación del crudo.

La omisión de este estudio implicaría daños a las instalaciones de la empresa, causando posibles fallos en los sistemas de manejo y disposición de las aguas de efluentes, en donde se evidenciaría la paralización de las plantas inevitablemente, debido a la incapacidad de producción y gestión inadecuada tanto de los efluentes como del producto petrolífero lo cual pondría en riesgo la seguridad operativa y física de las instalaciones.

Por lo tanto, para lograr este enfoque es fundamental realizar un análisis detallado de la criticidad de los sistemas involucrados para identificar los puntos críticos, evaluar los riesgos asociados y establecer medidas para garantizar su operación segura y eficiente. El análisis de criticidad en este contexto deberá considerar aspectos como la infraestructura física de los sistemas de manejo de aguas de efluentes, la eficacia de los métodos de tratamiento, la disponibilidad de recursos y equipos críticos. Este análisis, busca mejorar la confiabilidad, disponibilidad y seguridad de los sistemas de manejo y disposición de aguas de efluentes en patios de tanques, contribuyendo así a la sostenibilidad operacional de la empresa petrolera.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Inicialmente, se realizaron visitas de campo a los doce (12) patios de tanques con el fin de recolectar datos e información mediante la técnica de inspección visual, utilizando una lista de cotejo, con el propósito de tener conocimiento de las condiciones actuales en la que operan los sistemas de manejo y disposición de efluentes, gracias a la información suministrada por los operadores de las instalaciones. En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de la recolección de datos realizada mediante la lista de cotejo, en esta misma se evaluaron los siguientes indicadores: diseño del sistema, seguridad, higiene, y ambiente.

Tabla 1
Resultados derivados de la aplicación de la Lista de Cotejo

PDT	DISEÑO DEL SISTEMA		SEGURIDAD		HIGIENE Y AMBIENTE	
	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO
BACH	42,00%	58,00%	17,00%	83,00%	50,00%	50,00%
FCB	42,00%	58,00%	34,00%	66,00%	0,00%	100,00%
HCAB	33,00%	67,00%	83,00%	17,00%	38,00%	62,00%
LLN	50,00%	50,00%	0,00%	100,00%	25,00%	75,00%
LLS	33,00%	67,00%	83,00%	17,00%	38,00%	62,00%
PM	33,00%	67,00%	0,00%	100,00%	13,00%	87,00%
PGDA	25,00%	75,00%	0,00%	100,00%	25,00%	75,00%
PP	42,00%	58,00%	83,00%	17,00%	38,00%	62,00%
UTJ	42,00%	58,00%	83,00%	17,00%	38,00%	62,00%
BGDE	42,00%	58,00%	83,00%	17,00%	50,00%	50,00%
SAL	25,00%	75,00%	17,00%	83,00%	38,00%	62,00%
PMDA	25,00%	75,00%	50,00%	50,00%	62,00%	38,00%

Fuente: Alvarado, Cifuentes y Durán (2024)

Como primer indicador se encuentra el diseño del sistema, el cual busca medir las condiciones generales del sistema de efluentes de cada patio de tanques, comenzando por los tanques de almacenamiento y tomando en cuenta los mecanismos de separación, las unidades de bombeo y los arreglos que se han realizado para sortear algunas dificultades de movilización del fluido a través de cada fase del sistema. En este indicador se obtuvo un resultado negativo, con la mayoría de las respuestas inclinándose por el NO. El único patio de tanques que obtuvo una calificación neutra al realizar el análisis de las respuestas fue PDT LLN, con un 50/50.

Continuando con el indicador de seguridad, el cual engloba la utilización de equipos de protección personal (EPP) por parte de los operadores, así como el estado de las estructuras civiles en las que estos operadores desempeñan sus labores. En este indicador se obtuvo que solo 5 de los 12 patios de tanques cuentan con condiciones adecuadas para el desarrollo de las actividades: PDT HCAB, PDT PP, PDT UTJ, PDT BGDE y PDT PMDA.

Por último, se realizó la evaluación de la higiene y ambiente. Con este indicador se busca evaluar si en el desempeño de las actividades en las instalaciones sujetas a esta evaluación, se están generando repercusiones negativas visibles al ambiente, ya sea por emisiones de gases tóxicos, derrames de crudo a los suelos o la generación inadecuada de residuos. La evaluación de este indicador es fundamental para asegurar que las prácticas operativas cumplan con los estándares ambientales exigidos, minimizando riesgos tanto para el entorno como para la salud de los trabajadores.

Con el fin de describir los métodos de tratamiento para el manejo y disposición de aguas de efluentes en patios de tanques de PDVSA Occidente. Para cumplir con ello, se desarrollan las siguientes actividades de comparación de las características del agua residual cruda con las exigencias del efluente correspondiente, desarrollo y evaluación de las diferentes alternativas de evacuación o reutilización aplicables para luego determinar la combinación óptima, revisión de la clasificación de los diferentes métodos empleados para el tratamiento del agua residual, consideración de la aplicación de los diferentes métodos con el fin de alcanzar los objetivos establecidos para el proceso de tratamiento.

Con base en la evaluación comparativa, se determina que la opción óptima de las alternativas para la disposición de los efluentes generados en los patios de tanques es la descarga a cuerpos de agua. Sin embargo, esta alternativa actualmente maximiza el impacto ambiental debido a la situación en las que se encuentran las instalaciones.

Aunado a esto, se puede concluir que la consideración de esta actividad es relevante en el estudio del análisis de criticidad de esta investigación, puesto que es crucial en la identificación de alternativas críticas que podrían tener un impacto sustancial principalmente en términos de riesgos ambientales. Evaluando alternativas de evacuación como la descarga controlada a cuerpos de agua, la inyección en yacimientos petrolíferos y el vertido a otras instalaciones, se puede identificar cuáles de estas estrategias podrían representar mayores riesgos potenciales dentro de las instalaciones y contribuir al parámetro de consecuencia en la matriz de criticidad.

Debido al número de instalaciones de manejo y disposición de aguas de efluentes pertenecientes a la Gerencia de Coordinación Operacional de PDVSA Occidente, se procedió a aplicar un Análisis de Criticidad, basado en el método de los puntos, con el propósito de establecer la dirección de los esfuerzos en cuanto a la gestión de mantenimiento se refiere. De la aplicación del estudio de criticidad se obtendrá una jerarquización entre las instalaciones

evaluadas, lo cual permitirá ejecutar las actividades de tal forma se tenga un mayor impacto y un mejor funcionamiento en el menor tiempo posible.

El nivel de riesgo o criticidad de esta metodología se calcula combinando el Índice de Probabilidad de Falla (IPF) de un evento con sus consecuencias. El IPF será una predicción de la probabilidad en el tiempo, considerando los factores que pueden intervenir en la generación de una falla. El análisis de las consecuencias estará basado en la evaluación de elementos como: impacto en producción asociada, flexibilidad operacional, impacto en seguridad y ambiente.

Aplicando la metodología de análisis de criticidad de activos descrita, arrojó como resultado la matriz de criticidad mostrada en la Figura 1. En donde se puede concluir que de doce (12) sistemas evaluados, seis (06) de ellos resultaron con criticidad alta, uno (01) en criticidad media-alta, y los cinco (5) restantes en criticidad media.

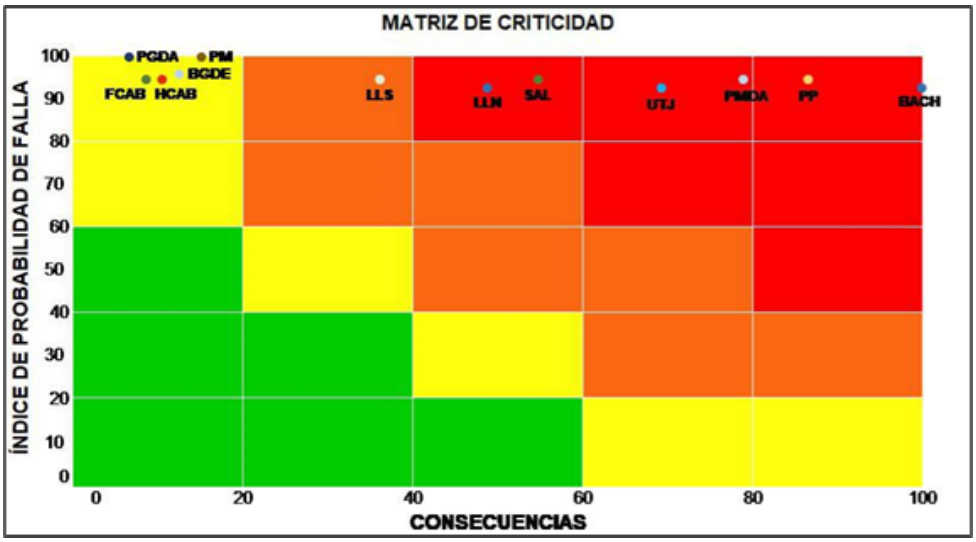

Figura 1. Resultados de la Matriz de criticidad
Fuente: Alvarado, Cifuentes y Durán (2024)

Tal como se puede apreciar en la Figura 1, los sistemas de efluentes de los PDT BACH, PMDA, PP, UTJ, LLN y SAL, resultaron con alta criticidad. A excepción del TDE SAL y PDT UTJ, los otros cuatro (04) sistemas disponen de las aguas de efluentes fuera de especificación (de acuerdo al decreto 883) directamente a los cuerpos de agua, lo cual genera una contaminación ambiental.

El PDT UTJ está enviando agua de efluentes fuera de especificación a estaciones de inyección de agua a yacimientos naturales, esto generará a futuro taponamientos en las líneas de producción que impactarán en los volúmenes de producción a futuro. Mientras que el TDE

SAL está disponiendo las aguas de efluentes fuera de especificación directamente en el suelo de la olla del Tanque 112, generando contaminación del mismo.

Con respecto al PDT BGDE, PDT PM, PDT PGDA, PDT HCAB y PDT FCAB que tuvieron una criticidad media, y el PDT LLS que tuvo una criticidad media-alta, se observa que la producción de agua de efluentes de estas instalaciones es derivada a otras instalaciones para su procesamiento y disposición final. Sin embargo, estas aguas de efluentes también se encuentran fuera de las especificaciones establecidas por el Decreto 883, que indica un máximo de 20 ppm de crudo en agua. A continuación, se presentan las oportunidades de mejora para los diferentes patios de tanques:

OPORTUNIDADES DE MEJORA. PDT BACH

- Establecer la conexión con la planta de tratamiento de efluentes de BACH, para evitar la disposición de agua petrolizada al cuerpo de agua más cercano.
- Programar plan de mantenimiento a los separadores API y componentes asociados a fin de retirar los sedimentos acumulados, que actualmente impactan en la eficiencia del sistema.

OPORTUNIDADES DE MEJORA. PDT PP

- Programar plan de mantenimiento a los separadores y componentes asociados a fin de retirar los sedimentos acumulados, que actualmente impactan en la eficiencia del sistema.
- Reactivar los sistemas de inyección de química que contribuyen a elevar la eficiencia en el proceso de separación del agua y el crudo.

OPORTUNIDADES DE MEJORA. PDT PMDA

- Programar plan de mantenimiento a los separadores y componentes asociados a fin de retirar los sedimentos acumulados.
- Solicitar a Ingeniería de mantenimiento valorar la integridad mecánica de los equipos del sistema que no se encuentran operativos, con el propósito de considerar su reactivación o desincorporación.

OPORTUNIDADES DE MEJORA. PDT UTJ

- Programar plan de mantenimiento a los separadores, clarificador y componentes asociados a fin de retirar los sedimentos acumulados, que actualmente impactan en la eficiencia del sistema.
- Instalar la bomba de agua de efluentes de la Unidad de Inyección 5F que permitan el transporte de este fluido a través de tuberías hacia a los múltiples de inyección de agua ubicados en el Lago de Maracaibo.

OPORTUNIDADES DE MEJORA. PDT SAL

• Programar plan de mantenimiento a los separadores y componentes asociados a fin de retirar los sedimentos acumulados.

• Restablecer las actividades de laboratorio de crudo, con el propósito de determinar la calidad del agua de efluente que sale de la instalación.

OPORTUNIDADES DE MEJORA. PDT LLN

• Programar plan de mantenimiento a los separadores, clarificador y componentes asociados a fin de retirar los sedimentos acumulados, que actualmente impactan en la eficiencia del sistema.

• Solicitar a Ingeniería de mantenimiento valorar la integridad mecánica de los equipos del sistema que no se encuentran operativos (DAL´s), con el propósito de considerar su reactivación o desincorporación.

OPORTUNIDADES DE MEJORA. PDT LLS

• Programar plan de mantenimiento a los separadores y componentes asociados a fin de retirar los sedimentos acumulados, que actualmente impactan en la eficiencia del sistema.

• Realizar actividades de saneamiento en las áreas perimetrales del Separador API, debido a que se evidencio residuos de hidrocarburos en la zona.

OPORTUNIDADES DE MEJORA. PDT PM

• Realizar análisis de factibilidad técnico-económica para la instalación de un nuevo sistema debido a que el diseñado originalmente para la instalación está desmantelado.

• Solicitar a Ingeniería de mantenimiento una inspección detallada a las estructuras civiles de los separadores, debido a que existe evidencia de filtraciones previas.

OPORTUNIDADES DE MEJORA. PDT BGDE

• Programar plan de mantenimiento a las fosas, separadores, pits y componentes asociados a fin de retirar los sedimentos acumulados y la solidificación de crudo.

• Solicitar a Ingeniería de mantenimiento valorar la integridad mecánica de los equipos del sistema que no se encuentran operativos, con el propósito de considerar su reactivación o desincorporación.

OPORTUNIDADES DE MEJORA. PDT HCAB

• Ubicar e Instalar los equipos de bombeo (agua de efluentes, crudo) que permitan la reactivación del sistema de esta instalación, la cual opera de forma deficiente.

• Acelerar el proyecto de reemplazo del acueducto PDT HCAB - PDT FCB, el que actualmente se está usando presenta múltiples problemas por filtraciones.

OPORTUNIDADES DE MEJORA. PDT FCB

• Programar plan de mantenimiento a los separadores y componentes asociados a fin de retirar los sedimentos acumulados, que actualmente impactan en la eficiencia del sistema.

• Realizar actividades de saneamiento en las áreas perimetrales de los equipos que pertenecen al sistema de efluentes de esta instalación, debido a que se evidencio residuos de hidrocarburos en la zona.

OPORTUNIDADES DE MEJORA. PDT PGDA

• Evaluar técnicamente restituir las operaciones de los tanques de compensación del sistema de manejo de efluentes de esta instalación, con el propósito de volver a operar bajo condiciones de diseño.

• Restablecer las actividades de laboratorio de crudo, con el propósito de determinar la calidad del agua de efluente que sale de la instalación.

CONCLUSIONES

Una vez culminado con el desarrollo de este trabajo de investigación, se presentan las consideraciones y conclusiones generadas con respecto a los resultados obtenidos de los objetivos planteados. El diagnóstico de la situación actual permitió revelar una serie de deficiencias significativas que comprometen el correcto funcionamiento y desempeño de las instalaciones, en donde se destaca principalmente la falta de registros históricos de fallas y mantenimiento, lo cual es esencial para la gestión efectiva de los sistemas.

Se constató que todas las instalaciones están operando bajo métodos de separación mecánica, sin utilizar separación química, como lo requieren las configuraciones de diseño. Además, dentro de las actividades para responder a este propósito, se evidenció que ninguno de los patios de tanques cumple con las regulaciones establecidas en el Decreto 883. Es importante destacar este factor dado que, aunque la descarga a cuerpos de agua se identificó como la alternativa más óptima de disposición, la falta de cumplimiento con el decreto contribuye a problemas de contaminación.

La valoración de la criticidad de los patios de tanques mostró que de los doce (12) patios de tanques evaluados, cinco (5) resultaron con una criticidad media, uno (1) en media-alta y los

seis (6) restantes en criticidad alta, cuyo impacto radica principalmente en el factor de consecuencias.

Por último, se plantearon diversas alternativas y actividades de mantenimiento basadas en la jerarquización de los sistemas. Estas propuestas buscaron mejorar tanto la calidad de los efluentes como las condiciones operativas de las instalaciones. Dichas medidas son esenciales no solo para cumplir con las normativas ambientales vigentes, sino también para asegurar la eficiencia de las operaciones a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Gallará I. y Pontelli D. (2020) **Mantenimiento Industrial.** 1era edición. Córdoba. Editorial Científica Universitaria.

García S. (2003) **Organización y gestión integral de mantenimiento.** 1era edición. España. Ediciones Díaz de Santos, S.A

Gomella C. y Guerree H. (2010) **Tratamiento de aguas para abastecimiento público.** 1era edición. Barcelona, España. Editores Técnicos Asociados, S.A.

Mora A. (2009) Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. 1era edición. México. Alfaomega Grupo Editor, S.A.

Mosquera G., Rivero J., Llanes J, Valhuerdi C., Torres A. y Perdomo M. (1995) **Disponibilidad y confiabilidad de sistemas industriales.** 1era edición. Barcelona, Venezuela. Ediciones Universitarias UGMA.

Moubray J. (1997) **Mantenimiento centrado en confiabilidad**. 2da edición. Lillington, Carolina del Norte

Normas oficiales para la calidad del agua Venezuela (1995). **Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.**