UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas

FC
Facultad de
Contrucciones

Departamento de Ingeniería Hidráulica

TRABAJO DE DIPLOMA

Título del trabajo: Propuesta de tratamiento de residuales líquidos en el proceso tecnológico en la Refinería "Sergio Soto" de Cabaiguán.

Autor del trabajo: Pedro Alain Blanco Consuegra

Tutor del trabajo: Msc. Ing Ángel Martín Linares

Santa Clara, junio de 2018
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual

Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

DEDICATORIA

Dedico este proyecto, con todo el amor que merecen:

A mi mamá, por el infinito amor que me brinda, por todos los sacrificios, preocupación, por haberme educado y mostrado el camino correcto, porque la amo.

A mi papá, por esa inmensa confianza que ha depositado siempre en mí, por brindarme su sabiduría, por su comprensión y porque igualmente lo amo mucho.

A Jessica, por el apoyo que me ha brindado en todo momento, por darme su fuerza, su amor y su confianza en esta etapa de mi vida. De igual forma a su familia que ya también es mi familia.

A mi hermana Ilem, por su sonrisa, por su amor, por esas ganas de verme llegar a casa, por recibirme siempre con besos y abrazos, por desear seguir mis pasos.

A mis abuelos Esperanza, Noel y Luisa porque sé que están igual de felices que yo por haber logrado escalar el primer peldaño en el mundo del saber.

Este trabajo es para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su apoyo, cariño y constante preocupación hacia mí durante todos estos años, facilitando así que hoy se haga realidad este sueño.

A mi familia por su apoyo incondicional y por estar siempre.

A Jessica por el amor que me brinda cada día, porque sé que siempre está ahí, dispuesta a ayudarme en lo que yo le pida.

A mi tutor Ángel, por brindarme todo el tiempo y el apoyo necesario en la realización de este trabajo, por su sabiduría, su dedicación y por su carácter que inspira confianza.

A Neya por darme una mano cada vez que la necesité.

A mis amigas y amigos del grupo, por los momentos compartidos, las alegrías y las tristezas, por saber que aunque estemos lejos siempre las tendré presente.

A todos, muchas gracias.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo general proponer un Sistema de Tratamiento de los Residuales (STR) líquidos en el proceso tecnológico en la refinería “Sergio Soto” de Cabaiguán para una eficiente separación de los hidrocarburos y aceites del agua, logrando que cada uno de estos fluidos pueda ser reutilizado en el proceso industrial. Para ello se describe el sistema de tratamiento de residuales líquidos en el proceso tecnológico en la refinería “Sergio Soto” de Cabaiguán, se caracteriza el residual líquido en el sistema de tratamiento de residuales, se diseña un sistema de tratamiento de los residuales líquidos para el proceso tecnológico en la refinería y finalmente se realiza un análisis económico del sistema de tratamiento propuesto. Se concluyó que el sistema de tratamiento existente es obsoleto por lo que se diseñó un sistema que incluye nuevos objetos de obras y se incorporan las centrífugas haciendo más eficiente el tratamiento del residual líquido en el proceso tecnológico. Por lo que se recomienda garantizar un sistemático control de mantenimiento a la infraestructura en cuestión, logrando su funcionabilidad y hacer una evolución del sistema de tratamiento de residuales periódicamente.

ABSTRACT

The present investigation has as general objective to propose a system of treatment of the liquid residuals in the technological process in the Refinery "Sergio Soto" of Cabaiguán for an efficient separation of the hydrocarbons and oils of the water, achieving that each one of these fluids can be reused in the industrial process. To this end, the liquid waste treatment system in the technological process at the "Sergio Soto" Refinery in Cabaiguán is described, the liquid residual is characterized in the waste treatment system, a liquid waste treatment system is designed for the technological process in the refinery and finally an economic analysis of the proposed treatment system is carried out. It was concluded that the existing treatment system is obsolete, so a system was designed that includes new works objects and the centrifuges are incorporated making the treatment of the liquid residual in the technological process more efficient. Therefore, it is recommended to ensure a systematic maintenance control of the infrastructure in question, achieving its functionality and making an evolution of the waste treatment system periodically.

TABLA DE CONTENIDOS

Contenido

DEDICATORIA iii

AGRADECIMIENTOS iv

RESUMEN v

ABSTRACT vi

INTRODUCCIÓN 1

Capítulo 1: Marco teórico 6

1.1 El petróleo 6

1.1.1 El Petróleo en Cuba 7

1.2 Reseña histórica de la refinería Sergio Soto de Cabaiguán 8

Antecedentes y logros 9

1.3 La Industria Petroquímica y su incidencia sobre el medio ambiente. 10

Emisiones al aire 11

Materiales peligrosos 11

Aguas Residuales. 12

Principales características de las aguas residuales de una refinería. 13

Características físicas 13

Requisitos para el vertimiento de las aguas residuales al medio. 15

1.4 Tratamiento de aguas residuales en refinerías 16

1.5 Tecnologías utilizadas para el tratamiento de aguas residuales en una refinería 19

Capítulo 2: Fundamentos tecnológicos 23

2.1. Descripción del sistema de tratamiento de residuales líquidos 23

2.2 Caracterización del residual líquido 24

2.3. Propuesta del sistema tratamiento para el residual líquido 28

Capítulo III: Diseño y análisis económico 40

3.1 Diseño del nuevo separador API 40
3.2 Diseño del sistema de tuberías y de bombas 41
3.3 Tecnologías de centrifugación 44
3.4 Análisis económico 44
3.5 Obtención de beneficios tangibles 48
3.6 Obtención de los costos anualizados totales (CAT) 49
3.7 Cálculo de los indicadores económicos de rentabilidad 50
Conclusiones 52
Recomendaciones 53
Referencias bibliográficas 54
Bibliografía 55

INTRODUCCIÓN

Una refinería es una plataforma industrial destinada a la refinación del petróleo, por medio de la cual, mediante un proceso adecuado, se obtienen diversos combustibles fósiles capaces de ser utilizados en motores de combustión: gas oil, nafta. Además, y como parte del proceso, se obtienen diversos productos tales como aceites minerales y asfaltos.

Los impactos ambientales de una refinería de petróleo son el resultado, principalmente, de las emisiones gaseosas, descargas de efluentes, desechos sólidos, ruido y olor además de efectos visuales o estéticos.

La contaminación por petróleo y sus derivados es uno de los factores que afecta los ecosistemas acuáticos, causando serias afectaciones al suelo, flora, fauna y salud humana por la ruptura, en muchos casos, del equilibrio de restauración natural.

El desarrollo de una tecnología eficiente para el tratamiento de estos desechos, debiera incluir la recuperación del valor energético de estos residuales y su reintroducción en el proceso productivo.

El surgimiento de la refinería de Petróleo “Sergio Soto’’ está ligada al desarrollo petrolero alcanzado en esa región con la explotación del Yacimiento de Pinas, cuyos crudos poseen excelentes características para la refinación.

Con el tiempo se fueron realizando ampliaciones, se construyó una planta para la producción de Aceites Básicos, única de su tipo en el país(González Águila, 2012) que fue inaugurada en el año 1989, constituye un elemento importante en la sustitución de importaciones en Cuba, y en 1997 se construye una planta de destilación al vacío como segunda etapa de dicha inversión.

A partir del año 1993 se inició en la Unidad de Destilación Atmosférica la producción de aceites dieléctricos a partir del procesamiento del crudo del Yacimiento Jatibonico, generalizándose posteriormente con el crudo Pina-Cristales, en el año 1999 se introduce la tecnología de secado del aceite dieléctrico con Nitrógeno para mejorar su calidad todas estas mejoras introducidas fueron aumentando la carga contaminante al sistema concebido en la inversión original.

Con el paso del tiempo, el envejecimiento de este yacimiento y la lógica disminución de la producción del mismo, esta refinería se ha visto limitada y deprimida en su explotación.

Las dificultades financieras por las que ha transitado el país en los últimos años, los bajos volúmenes de crudo a procesar y las limitadas posibilidades de desarrollo que ha tenido esta instalación, han hecho que el equipamiento tecnológico de esta refinería presente un alto grado de obsolescencia y deterioro, ocasionando un pobre estado técnico en sus áreas productivas y de servicio, así como en las instalaciones necesarias para el tratamiento de los residuos que se originan en la misma, los cuales no solo resultan obsoletos, sino que son insuficientes, por lo que hace necesaria la sustitución y/o adquisición de los equipos tecnológicos que mejoren los resultados para que el proceso de vertimiento de esta fábrica disponga de los parámetros requeridos por instalaciones de su tipo.

La refinería cuenta con dos trampas para el tratamiento de los residuos líquidos, basado en la separación por densidades de los hidrocarburos, la Trampa 46 y la Trampa Central, la misma cuenta con un recolector de hidrocarburo o skimmer y con los filtros de aserrín para la captación de los hidrocarburos cuando pasen los efluentes por él, antes de ser vertido en la zanja, las cuales vierten sus residuos hacia una misma cañada por dos lugares diferentes que van a parar al río Cayajaca, afluente del río Tuinucú, que desemboca en la presa Zaza, mayor embalse del país y de suma importancia en actividades agrícolas y ganaderas.

La Trampa 46 actualmente no funciona correctamente, lo que provoca que pase una gran cantidad de hidrocarburos hacia los residuos que se vierten, adicionalmente y debido a su ubicación cuando se producen grandes lluvias, toda la zona se inunda, se desbordan los separadores de la trampa, lo que conlleva al arrastre de hidrocarburos, contaminando los terrenos al sur de la refinería.

Por otra parte, la Trampa Central funciona relativamente bien, porque tiene un tratamiento previo en una trampa y sus principales problemas son producto de la falta de mantenimiento y limpieza del filtro.

Estas trampas resultan insuficientes para tratar los volúmenes de residuos que se originan en esta instalación y no garantizan los tratamientos necesarios, lo que ocasiona que sean vertidos sin cumplir con los parámetros vigentes para instalaciones de su tipo.

La presente investigación tiene como **objeto de estudio** el tratamiento de residuales líquidos en la refinería “Sergio Soto” de Cabaiguán y la reincorporación de los subproductos del tratamiento en la industria, y como **campo de investigación** los residuales generados en la refinería “Sergio Soto”.

A partir de lo expresado se formula el siguiente **problema científico**:

¿Cómo contribuir al mejoramiento del tratamiento de los residuales líquidos en el proceso tecnológico en la refinería “Sergio Soto” de Cabaiguán?

Como solución adelantada a esta problemática se tiene la siguiente **hipótesis**: Si se propone un nuevo sistema de tratamiento de los residuales líquidos en el proceso tecnológico en la refinería “Sergio Soto” de Cabaiguán se podrá garantizar la eficiente separación de los hidrocarburos y aceites del agua, logrando que cada uno de estos fluidos pueda ser reutilizado en el proceso industrial.

El **objetivo general:** Proponer un sistema de tratamiento de los residuales líquidos en el proceso tecnológico en la refinería “Sergio Soto” de Cabaiguán para una eficiente separación de los hidrocarburos y aceites del agua, logrando que cada uno de estos fluidos pueda ser reutilizado en el proceso industrial.

Objetivos específicos:

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre el petróleo en Cuba, aguas residuales y sistema de tratamiento de residuales líquidos.
2. Describir el sistema de tratamiento de residuales líquidos en el proceso tecnológico en la refinería “Sergio Soto” de Cabaiguán.
3. Caracterizar el residual líquido en el sistema de tratamiento de residuales.
4. Diseñar un sistema de tratamiento de los residuales líquidos en el proceso tecnológico en la refinería “Sergio Soto.
5. Realizar un análisis económico del sistema de tratamiento propuesto.

Para poder dar respuesta a la pregunta científica asumida en la presente investigación y alcanzar cada uno de los objetivos propuestos se proponen las siguientes **tareas investigativas** a consideración del investigador.

1. Realización de una revisión bibliográfica sobre el petróleo en Cuba, aguas residuales y sistema de tratamiento de residuales líquidos.
2. Descripción del sistema de tratamiento de residuales líquidos en el proceso tecnológico en la refinería “Sergio Soto” de Cabaiguán
3. Caracterización del residual líquido en el sistema de tratamiento de residuales.
4. Diseño de un sistema de tratamiento de los residuales líquidos en el proceso tecnológico en la refinería “Sergio Soto.
5. Realización del análisis económico del sistema de tratamiento propuesto.

La **estructura del trabajo de diploma** será de la siguiente forma:

Capítulo I: Revisión bibliográfica.

Capítulo II: Fundamentos tecnológicos

Capítulo III: Diseño y análisis económico

Conclusiones y recomendaciones

Capítulo 1

Capítulo 1: Marco teórico

1.1 El petróleo

Como resultado del crecimiento industrial, la demanda de recursos naturales y sus derivados han aumentado. Uno de los recursos naturales que ha experimentado mayor incremento en su consumo fundamental en el desarrollo industrial, es el petróleo. El mismo es un recurso no renovable por lo tanto cada día es más importante utilizar este recurso y sus derivados de manera eficaz.

El petróleo es una mezcla compleja de un enorme número de compuestos químicos, generalmente llamados hidrocarburos. En su estado natural, su apariencia varía desde un líquido claro blanquecino de consistencia muy liviana, a un color castaño o verdoso, hasta llegar a un material asfáltico pesado, casi sólido, de coloración negra donde se encuentran en pequeñas cantidades, entre cero y el cinco por ciento (0-5%), de azufre, oxígeno y nitrógeno, dependiendo de su origen.(Herrera, 2016)

La preparación del petróleo para su refinación consiste en eliminar del crudo extraído de los yacimientos: gases disueltos, sales minerales, agua e impurezas mecánicas, así como estabilizar**.**(Rodríguez Consuegra, 2012)

El proceso de refinación es un conjunto de complejas operaciones físicas y químicas que se realizan con el objetivo de descomponer el petróleo en sus distintas fracciones de hidrocarburos así como para lograr las propiedades requeridas en los productos terminados.(Duarte Alvarez, 2014)

Las refinerías son grandes plantas de producción de gran densidad de capital, con sistemas de procesamiento extremadamente complejos. En ellas se convierte el petróleo crudo y otros flujos de entrada en docenas de (sub)productos refinados, por ejemplo: (Mathpro, 2011)

- Gas licuado de petróleo (GLP)
- Gasolina
- Combustible pesado
- Queroseno
- Combustible diésel

- Materias primas de petroquímicos
- Aceites lubricantes y ceras
- Gasóleo de calefacción
- Aceite combustible (para generación de energía eléctrica, combustible marino, calefacción industrial y urbana)
- Asfalto (para pavimentación y techado)

1.1.1 El Petróleo en Cuba

Cuba produce a diario 45 000 barriles de petróleo crudo y tres millones de metros cúbicos de gas natural, que permiten que solo la obtención de hidrocarburos en el país cubra casi la mitad de la demanda energética nacional.(Felipe, 2016)

Las reservas petroleras de Cuba, están divididas en dos provincias, llamadas Zonas Petrolíferas, todas ubicadas en cuencas sedimentarias. Las dos zonas son Zona Norte y Matanzas, en esta última se ubica el área esencial y más importante de extracción de petróleo crudo, donde está el hallazgo más importante en los últimos cinco años: Boca de Jaruco, Puerto Escondido, Varadero. Existen 24 yacimientos, 19 de ellos en explotación. Las reservas probadas y probables son de 245 millones de barriles en 35 hm^3 (millones de metros cúbicos). La extracción anual es de 1 t/m^2 (tonelada por metro cuadrado).

En Cuba la encargada de la extracción, producción, refinación y distribución de productos petrolíferos y derivados es la empresa Cuba Petróleo (Cupet), creada en 1992 luego de la fusión de la Unión de Exploración, Perforación y Extracción del Petróleo y la Unión del Combustible.

El sistema de refinación de Cuba Petróleo está integrado por 4 refinerías, ubicadas en el Occidente (Ñico López), Centro (Sergio Soto y Camilo Cienfuegos) y Oriente (Hermanos Díaz) del país y que tienen como objetivo principal maximizar el abastecimiento de la demanda nacional de derivados del petróleo.

La refinería Sergio Soto, inaugurada en 1947 y situada en Cabaiguán.

La refinería Ñico López construida en los años 50, los terrenos de Regla en la Habana y confiscada en el 1960.

La refinería Hermanos Díaz, situada en Santiago de Cuba, inaugurada en 1957 y confiscada a Texaco.

La refinería Camilo Cienfuegos a la empresa Mixta Cubano – Venezolana Cuvenpetropol S.A, situada en Cienfuegos. Fue construida con tecnología de la URSS, refinó un millón de toneladas en total entre el 1991 y 1996. Después dejó de operar y comenzó nuevamente su operación en el año 2007 después de que Venezuela aportara 136 millones de dólares para su rehabilitación.

1.2 Reseña histórica de la refinería Sergio Soto de Cabaiguán

Fue fundada el 20 de diciembre de 1947, con el nombre de refinería RECA, sus orígenes se remontan un tiempo atrás cuando por la zona conocida como Jarahueca una pequeña compañía hace sus primeras exploraciones y el crudo extraído es trasladado de diferentes formas, entre ellas, carretas tiradas por bueyes, luego se construye un pequeño oleoducto, después debido a los problemas existentes con el transporte del crudo hacia La Habana se realiza la instalación de un alambique con el propósito de destilarlo allí mismo. Ya en 1945 los alambiques no eran suficientes para la cantidad de crudo extraído y se sustituye por una pequeña Refinería de Destilación Atmosférica alcanzando la capacidad suficiente para procesar la producción del momento. (Martínez González and Figueroa Valdivia, 2016)

El 13 de diciembre de 1976 se crea la refinería de Petróleo de Cabaiguán, con personalidad jurídica propia a todos los efectos legales. En el año 1987 se unifica la distribuidora con la refinería por la resolución 18-31 de fecha 10 de diciembre de 1987, constituyendo la primera experiencia de este tipo en el país. En el año 1989 se construye una planta productora de Aceites Básicos.

Actualmente la refinería produce nafta, queroseno, fuel oil y diésel, productos que se obtienen a partir del fraccionamiento del crudo procesado en la torre de destilación atmosférica siendo ésta punto de partida para la obtención de otros productos como son: solventes especiales, mezcla de fuel, diesel y queroseno, por otro lado de la destilación al vacío se obtienen cortes laterales que son materia prima para la obtención de asfalto así como el llamado corte lateral R3 para la

obtención de aceites dieléctricos para transformadores de hasta 14 kVA y aceite sigatoca.

Antecedentes y logros

- 1960: Es la primera refinería que interviene el gobierno revolucionario.
- 1961: Se refina por primera vez en Cuba el petróleo soviético, arribando por el puerto de Casilda.
- 1973: Se introducen modificaciones técnicas importantes en el área de hornos y planta, elevando su capacidad a 600 t/d.
- 1988: Se une la Empresa Comercializadora con la Refinería como primera experiencia en el país.
- 1989: Se inaugura la Planta de Aceites Básicos, para su producción a partir del crudo cubano.
- 1993: Se obtiene por primera vez el Aceite Transformador a partir del crudo cubano y se comercializa a granel.
- Se deja de recibir crudo de importación, solo se refinan 30 000 t/año de crudo cubano.
- 1996: Se obtiene el récord histórico de refinación del crudo cubano en la empresa con 193,5 MTM de crudo procesado.
- 1997: Se produce el aceite transformador con tratamiento de secado y envasado.
- 1998: Se inaugura la Unidad de Destilación al Vacío, con lo cual se profundiza la destilación del crudo cubano, y se obtiene mayor calidad para los aceites básicos y nuevos productos como Asfalto y VGO.
- 2001: La empresa se incorpora al Sistema de Perfeccionamiento Empresarial.
- 2002: Se introduce la quema de crudo cubano en hornos y calderas.
- Se introduce el secado de aceite transformador con nitrógeno.
- 2006: Se logra la validación por un laboratorio internacional del aceite para transformadores eléctricos de 13,8 kV.
- 2007: Se certifica el Sistema de Gestión de la Calidad por las normas ISO.
- 2010: Se sobre cumple el plan de Refinación de crudo con 49 198,7 t de un Plan de 43 000 t, logro que no se alcanzaba desde el año 2006.

- Se implanta récord de producción de asfalto con 10 000 t de excelente calidad y se comercializa a todas las provincias del país.
- Se implanta record de producción de aceite dieléctrico para transformadores con 1 155 t, que sustituyen importaciones por un valor de más 1,5 millones de dólares.

1.3 La Industria Petroquímica y su incidencia sobre el medio ambiente.

Por impacto ambiental se entiende el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. Un ambiente está impactado cuando una actividad produce una alteración en el sistema ecológico.

La protección del medio ambiente es una consideración importante en las operaciones de las refinerías debido a los requisitos de obligado cumplimiento y a la necesidad de conservación a medida que aumentan los precios y los costes.**(Kraus, 2001)**

Los efluentes líquidos de las refinerías son conducidos a plantas de tratamiento de aguas residuales: aceites, grasas, amoniaco, compuestos fenólicos, sulfuros, ácidos orgánicos, cromo y otros metales. Estos contaminantes están expresados en términos de su demanda biológica de oxígeno (DBO_5) y demanda química de oxígeno (DQO). Las refinerías generan grandes cantidades de residuos sólidos; los principales son los catalizadores gastados, los finos de coque, los sulfuros de hierro, los medios filtrantes, y los diferentes lodos (de la limpieza de los tanques, separadores de aceite y agua y sistemas de tratamiento de las aguas servidas).

Entre las posibles cuestiones ambientales relativas a la refinación del petróleo se incluyen principalmente las siguientes:

- Emisiones al aire
- Aguas residuales
- Materiales peligrosos
- Residuos
- Ruido

Emisiones al aire

La contaminación del aire incluye elementos de origen natural y emisiones resultantes de actividades humanas. Los contaminantes atmosféricos pueden ser compuestos gaseosos, aerosoles o material particulado. Entre los contaminantes gaseosos se encuentran el ozono, los óxidos de azufre y de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y compuestos volátiles orgánicos e inorgánicos.

En una refinería las emisiones de aire provienen de diferentes fuentes:

- **Emisiones de combustión**: asociadas con la quema de combustibles en la refinería. incluyendo combustibles usados en la generación de electricidad.
- **Emisiones por fugas en los equipos** (emisiones fugitivas): liberadas por fugas en válvulas, bombas y otros artefactos del proceso. Están compuestas primariamente de compuestos volátiles como amoniaco, benceno, tolueno propileno, xileno y otros.
- **Emisiones de los sistemas de agua de desecho** de tanques, estanques y sistemas de drenaje de aguas residuales.
- **Emisiones de respiraderos de proceso**: típicamente incluyen emisiones generadas durante el proceso de refinación en sí. Corrientes gaseosas de todos los procesos de la refinería contienen cantidades variantes del gas combustible de la refinería, sulfuro de hidrógeno y amoniaco.
- **Emisiones de tanques de almacenamiento**: liberadas cuando el producto es transferido desde y hacia los tanques de tratamiento.

Materiales peligrosos

Las instalaciones destinadas a la refinación de petróleo producen, utilizan y almacenan cantidades significativas de materiales peligrosos, incluidas materias primas, productos acabados y semiacabados y productos derivados.

Residuos

En las refinerías de petróleo se producen mayormente dos tipos de residuos:

- **Residuos no peligrosos**: son incinerados, regenerados para proveer productos que pueden ser vendidos fuera de sitio llevados de regreso a la refinería para su uso.

- **Residuos peligrosos**: Entre los residuos peligrosos se encuentran los lodos aceitosos, derrames aceitosos de sólidos de emulsiones, sólidos flotantes de la flotación con aire disuelto, sólidos de corrosión del fondo de los tanques y desechos de limpieza de los haces intercambiadores de calor.

Aguas Residuales.

Se denomina aguas residuales a aquellas cuya calidad original se ha degradado, en alguna medida, como consecuencia de su utilización en diferentes acciones y procesos.**(Normalización, 2012)**

Aguas residuales industriales: Comprenden todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial. Los compuestos orgánicos e inorgánicos se encuentran en aguas residuales procedentes de instalaciones industriales diversas.(Duarte Alvarez, 2014)

Cada actividad industrial aporta una contaminación determinada por lo que es conveniente conocer el origen del vertido industrial para valorar su carga contaminante e incidencia en el medio receptor. Cuando se conoce el origen del vertido, el número de parámetros que definen la carga contaminante del mismo es reducido.(Contributors, 2014)

Las aguas residuales de una refinería contienen normalmente hidrocarburos, materiales disueltos, sólidos en suspensión, fenoles, amoniaco, sulfuros, ácidos, álcalis y otros contaminantes. También existe riesgo de derrames y fugas accidentales de una gran variedad de productos químicos tóxicos y/o inflamables.(Kraus, 2001)

Las aguas residuales producidas como resultado de las actividades propias de la planta Petroquímica se segregan en función de su origen y sus propiedades físico-químicas. De forma general, en esta industria existen varios sistemas de recogidas independientes, correspondientes a los cinco tipos de aguas residuales segregadas:(Hernando Marcos, 2011)

- Aguas de proceso
- Aguas de lluvia de zonas potencialmente contaminadas

- Aguas de lluvia de zonas limpias
- Aguas sanitarias
- Aguas de deslastre

Principales características de las aguas residuales de una refinería.

Características físicas

- Temperatura: La temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas, que se presentan en la degradación de la materia orgánica**.**
- Turbidez: La turbidez, medida de la propiedad de transmisión de la luz del agua, es otro ensayo utilizado para indicar la calidad de los vertidos de aguas residuales con respecto a la materia suspendida.
- Color: En muchos casos ayuda a determinar la edad del agua. El color final más oscuro se debe a la tratada. Al principio presenta un color grisáceo y conforme avanza el tiempo adopta un color cada vez más oscuro por la formación sobre la superficie de sulfuros metálicos, al liberarse éste en condiciones anaerobias.
- Sólidos Totales: Materia obtenida tras someter al agua a un proceso de evaporación cuyas temperaturas están comprendidas en el rango de 103 ^{o}C y 105 ^{o}C.

Características químicas:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5): La DBO se define como la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para estabilizar la materia orgánica bajo condiciones aerobias.
- Demanda química de oxigeno (DQO): La DQO es una medida del oxígeno necesario para oxidar las sustancias existentes.
- Sólidos totales disueltos: Los sólidos totales disueltos, constituyen una medida de la parte de sólidos en una muestra de agua que pasa a través de un poro nominal de 2,0 µn (o menos) en condiciones específicas. Esta medida proporciona otra indicación (como la conductividad) de la salinidad en las descargas de la industria petrolera.

- Aceites y grasas: Están presentes en aguas industriales, derivados del petróleo. Generalmente se extienden sobre la superficie de las aguas, creando películas que afectan a la vida biológica de las aguas.
- Sulfuros: Se encuentran en las aguas negras, aguas de industria química, papelera y refinerías de petróleo. La concentración de sulfuros da una idea del grado de septización.
- Fenoles: Esta medición suministra una indicación de la concentración de la mayoría de compuestos fenólicos (hidróxidos derivados de bencenos y sus núcleos condensados). Los fenoles frecuentemente están presentes en altas concentraciones en las aguas residuales de la industria petrolera. En niveles altos pueden manchar la piel de los peces y afectar negativamente la flora, fauna y seres humanos. En niveles relativamente bajos estimulan la producción de olores fuertes y desagradables cuando se presentan en combinación con altas concentraciones de cloruros.
- Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH): Los Hidrocarburos totales de petróleo son una mezcla de productos químicos compuestos principalmente de hidrógeno y carbono, llamados hidrocarburos. Los científicos han dividido a los TPH en grupos de hidrocarburos de petróleo que se comportan en forma similar en el suelo o el agua. Estos grupos se llaman fracciones de hidrocarburos de petróleo. Cada fracción contiene muchos productos químicos individuales. Algunas sustancias químicas que pueden encontrarse en los TPH incluyen a hexano, combustibles de aviones de reacción, aceites minerales, benceno, tolueno, xilenos, naftalina y fluoreno; como también otros productos de petróleo y componentes de gasolina.
- Gases: Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales son el nitrógeno, el oxígeno, el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrógeno, el amoniaco, y el metano. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

Características biológicas: Estas características están definidas por la clase de microorganismos presentes en el agua, entre los cuales tenemos:

- Bacterias: Juegan un papel fundamental en la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Pueden clasificarse, en base a su metabolismo, en heterótrofas y autótrofas.
- Flagelados: Son pequeños (5-20 µm) de forma oval o alargados, activamente móviles por uno o más flagelos. Su presencia puede indicar niveles de DBO_5 solubles altos. Los flagelados no son abundantes cuando el proceso de depuración funciona adecuadamente. Su elevada densidad en los reactores se relaciona con las primeras etapas de la puesta en marcha de la instalación, cuando las poblaciones estables de los protozoos ciliados no se han desarrollado todavía. La presencia excesiva en un fango estable indica una baja oxigenación del mismo o un exceso de carga orgánica.

Requisitos para el vertimiento de las aguas residuales al medio.

El vertimiento indiscriminado de aguas residuales sin tratar, es uno de los principales problemas que afecta el deterioro de los recursos hídricos, desmejorando considerablemente la calidad de las aguas de abasto y afectando el medio ambiente.

Según lo establecido en la NC 27:2012 “Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones”, los residuales líquidos a verter deben cumplir con los límites máximos promedios relacionados en la Tabla Nº1.

Tabla Nº 1. Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) para los parámetros de los residuales líquidos.

Parámetros	UM	Ríos y Embalses
Conductividad eléctrica	**µS/cm**	**3 500**
pH	**Unidades**	**6 – 9**
Temperatura	**ºC**	**50**
Grasas y aceites	**mg/l**	**30**
Sólidos sedimentables	**ml/l**	**5,0**

DBO_5	**mg/l**	**60**
DQO_{Cr}	**mg/l**	**120**
Nitrógeno total	**mg/l**	**20**
Fósforo total	**mg/l**	**10**

1.4 Tratamiento de aguas residuales en refinerías

Un sistema de tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar la materia en suspensión, así como las sustancias coloidales y finalmente las sustancias disueltas que contienen. En la actualidad estos procesos se agrupan entre sí para constituir los así llamados tratamiento primario, secundario y terciario (o tratamiento avanzado).

La selección del sistema de tratamiento depende de una serie de factores, dentro de los cuales se incluyen: (Morató, 2009)

- Característica del agua residual: DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), materia en suspensión, pH, productos tóxicos, entre otros
- Calidad del efluente necesario para la descarga
- Costo y disponibilidad de terrenos
- Tecnologías disponibles

Tratamiento primario

El tratamiento primario involucra principalmente la remoción de aceites y sólidos en suspensión no disueltos. La técnica empleada para la remoción de aceite es la separación por gravedad, que se basa en las gravedades específicas del aceite y del agua. Los separadores de agua-aceite, suelen complementarse con unos equipos que permiten separar las partículas en suspensión y así se completa este tratamiento primario.(André, 2014)

Una segunda separación de grasas y aceites se puede llevar a cabo mediante la flotación con aire disuelto (DAF). En esta etapa se puede recurrir al uso de desestabilizantes para romper las emulsiones de aceite-agua, y mejorar las eficiencias de remoción.(Espinoza Angulo, 2015)

Tipos de separadores agua-aceite

- Separadores API: Los API son los separadores del petróleo más sencillos. Por lo general, en ellos se pueden separar partículas con diámetros mayores o iguales a 150 µm. Los separadores API tienen como ventaja su gran capacidad de absorción de sedimentos y se adecuan en especial para el petróleo con un alto punto de solidificación. Sin embargo, necesitan un volumen de construcción relativamente grande. La salida de sustancias con olores fuertes se puede evitar con un recubrimiento. (Saneamiento, 1986)
- Separadores de Placas Paralelas Inclinadas (PPI): En los separadores PPI, con una incorporación de láminas paralelas de acero inclinadas con un grosor aproximado a 1 mm, en dirección longitudinal con una separación aproximada a 10 cm (con su consecuente reducción de la altura de ascenso de las partículas de petróleo), se logra aumentar la superficie efectiva y mejorar la separación del petróleo. Esta superficie equivale a la suma de la superficie horizontal de la proyección de las diferentes láminas. Las láminas se construyen con una inclinación de 45°, de donde se deriva una altura de ascenso aproximada a los 14 cm. El petróleo separado asciende hasta la parte inferior de las láminas y se desliza hacia arriba a la superficie del agua, mientras que las partículas sólidas se depositan sobre la parte superior de las láminas.

  En estos separadores, la corriente laminar que fluye entre las láminas y la distribución más uniformes de la corriente volumétrica que pasa a través del perfil completo, favorecen una mejor separación de petróleo que en los separadores API. Por lo general, en ellos se pueden separar partículas con diámetros mayores o iguales a 60 µm.
- Separadores de placas corrugadas (CPI): Los separadores CPI constituyen una modificación del modelo PPI. Están divididos por láminas corrugadas colocadas a distancias de 2 cm entre sí. El paquete de láminas corrugadas está construido de un material plástico, reforzado con fibra de vidrio en un ángulo de 45°. De aquí resulta una altura máxima de ascenso de las partículas de petróleo de unos 3 cm. En ambos extremos de las láminas corrugadas y en forma perpendicular a estas, hay canales conductores que recogen el material de las partes cóncavas y convexas del corrugado. Con esto se puede separar hacia arriba o hacia abajo,

e independiente del flujo de agua, el petróleo separado o las sustancias sedimentables de la fase acuosa. Por lo general, en ellos se pueden separar partículas con diámetros mayores o iguales a 60 µm.

Flotación por Aire Disuelto (DAF): Este proceso, se realiza disolviendo aire en el agua residual a presión y liberándolo a presión atmosférica posteriormente en un tanque de flotación. El aire liberado forma pequeñas burbujas que se adhieren a la materia prima suspendida provocando que el mismo flote en la superficie formando una espuma que posteriormente es removida por medios mecánicos o manuales.(De Turris et al., 2011)

Tratamiento secundario

El tratamiento biológico tiene como objetivo remover los aromáticos más ligeros y los hidrocarburos parafínicos, los fenoles, los ácidos carboxílicos, cianuros y sulfuros.(André, 2014)

En éste se consume y oxida la materia orgánica eliminando contaminantes orgánicos y sólidos disueltos. Entre los procesos biológicos se encuentran: lodos activados y sus modificaciones, filtros percoladores y lagunas aireadas. El proceso de lodos activados generalmente es considerado como el más efectivo para la remoción de materia orgánica, con eficiencias de remoción de 70 % a 95 % para DBO_5, 30 % a 70 % para DQO, y 65 % a 90 % para fenoles y cianuros.(Espinoza Angulo, 2015)

Tratamiento terciario

La utilización de los distintos tipos de tratamiento de aguas residuales tiene relación con el cumplimiento de normas específicas de calidad, antes de que estas aguas tratadas vuelvan a utilizarse o sean descargadas a un cuerpo de agua. El tratamiento terciario tiene como objetivo eliminar compuestos específicos que no han sido eliminados por los sistemas primarios y secundarios. Las tecnologías empleadas pueden ser de tipos físicas, químicas y/o biológicas.

Un ejemplo de aplicación es la adsorción con carbón activado, para la eliminación de compuestos organoclorados, o la desinfección para eliminar patógenos mediante cloración u ozonización.(Morató, 2009)

1.5 Tecnologías utilizadas para el tratamiento de aguas residuales en una refinería

Absorción con carbón activado: Este proceso se utiliza para el tratamiento de aguas residuales con bajos contenidos del contaminante, como es el caso común de las aguas residuales de las refinerías.

En este proceso, el fenol queda retenido en la superficie del carbón activo que posteriormente se regenera para su utilización. La capacidad de saturación del carbón activo oscila entre los 0,04 g y 0,09 g de fenol entre gramos de carbón activo, y una vez que el carbón se encuentra saturado de fenol, se procede a su regeneración.(André, 2014)

Membranas: Las membranas son barreras físicas semipermeables que separan dos fases, impidiendo su íntimo contacto y restringiendo el movimiento de las moléculas a través de ellas de forma selectiva. Este hecho permite la separación de las sustancias contaminantes del agua, generando un efluente acuoso depurado.

La rápida expansión, a partir de 1960, de la utilización de membranas en procesos de separación a escala industrial ha sido propiciada por dos hechos: la fabricación de membranas con capacidad para proporcionar elevados flujos de permeado y la fabricación de dispositivos compactos, baratos y fácilmente intercambiables donde disponer grandes superficies de membranas**.**(González Águila, 2012)

Ozono: El ozono es un oxidante poderoso que reacciona de forma no selectiva con un gran número de sustancias, descomponiendo los compuestos orgánicos en compuestos inofensivos o en sustancias más simples que pueden ser fácilmente transformadas o tratadas por métodos convencionales. El ozono se ha mostrado eficaz para la degradación de fenoles, pesticidas, detergentes, nitrofenoles y especialmente colorantes. Se reporta su utilización para el control de olores y para la eliminación de materia orgánica soluble, sustituyendo al proceso de adsorción con carbón activado.(Duarte Alvarez, 2014)

El ozono en solución acuosa puede reaccionar con la mayoría de contaminantes que están en las aguas residuales industriales de dos diferentes maneras.(Forero et al., 2005)

1. Por reacción directa del ozono molecular.

2. Por reacción de las especies formadas por la descomposición del ozono en el agua (radicales libres)

Centrifugación: Operación básica con la que se lleva a cabo la separación de las sustancias por medio de la fuerza centrífuga. Las aplicaciones de la centrifugación se comentan en 4 apartados: separación de líquidos inmiscibles, clarificación centrífuga, separación de lodos y filtración centrífuga.(Hernando Marcos, 2011)

El principio de funcionamiento de las centrífugas

Las centrífugas son diseñadas para separar de forma continua dos fases (sólido-líquido) o separación continua de tres fases (sólido-líquido-líquido), cumpliendo requisitos especiales de operación como áreas clasificadas de peligrosas, inflamables, explosivas.

Algunas de las aplicaciones en la industria petrolera pueden ser:

- Control de sólidos en sólidos de perforación, base agua, base aceite.
- Tratamiento de borras de refinación- slop oil
- Lagunas de lodos oleosos
- Lodos de fondo de tanques
- Lodos de separadores API
- Efluentes del tratamiento de las aguas residuales

Hay una amplia gama de centrifugadores industriales actualmente disponibles en el mercado. Sin embargo, para poder seleccionar la más adecuada para una aplicación específica, se requiere de un conocimiento profundo de las distintas opciones. En este caso se dispondrán de dos tipos de ellas:(Valdez Iriarte, 2011)

- Centrífuga Decantadora de tres fases o Tricanter
- Centrífuga Vertical o de Discos también separadora de tres fases

Centrífuga Decantadora: Las centrífugas decantadoras se caracterizan por un tazón horizontal con una sección cilíndrica y una sección cónica, con una relación de longitud a diámetro entre 1,5 y 3,5. El tazón contiene un tornillo transportador que gira en la misma dirección, pero a una velocidad ligeramente superior o inferior

que el tazón (entre 5 RPM y 100 RPM) de diferencia. Las velocidades de rotación son de 1 600 RPM a 6 000 RPM por lo que los campos centrífugos son menores que los de los otros equipos.

Centrífuga de Discos: La centrífuga de discos consta de un eje vertical sobre el cual se montan un conjunto de discos en forma de conos truncados, uno sobre otro. El rotor de la centrífuga provoca el giro tanto de los discos como del tazón de la centrífuga. Los discos constan de bordes internos que permiten mantener pequeñas separaciones entre ellos, del orden de 0,5 mm a 2,0 mm. El ángulo que forman los conos con la vertical varía entre 35 ºC y 50 ºC dependiendo de la aplicación particular. Entre la pila de discos y el tazón existe un espacio que permite la acumulación de sólidos

Capítulo 2

Capítulo 2: Fundamentos tecnológicos

2.1. Descripción del sistema de tratamiento de residuales líquidos

Actualmente el Sistema de Tratamiento de Residuales de la refinería Sergio Soto de Cabaiguán está compuesto por:

- Trampa central:
- Trampa de destino final
- Filtro de virutas (aserrín)
- Trampa 46
- Filtro 46

La trampa central cuenta con un depósito de separación de hidrocarburos y agua mediante la separación natural por densidades, además cuenta con un recolector de hidrocarburos o skimmer, con una estación de bombeo para recoger los hidrocarburos y enviarlos al tanque slop, la misma se opera de forma manual, recoge los residuales procedentes de la planta de destilación atmosférica al vacío y los tanques de almacenamiento números: 8, 11, 13, 14, 30, 31 y 32.

La Trampa de destino final, ubicada al noreste de la Refinería recibe un gasto aproximado máximo de 60 m^3/d, los residuales provenientes de:

- Cargaderos para camiones cisterna.
- Recepción y embarque por ferrocarriles.
- Una parte de área de tanques para almacenamiento de productos.
- Planta de destilación.

La trampa de destino final cuenta con un depósito de separación de hidrocarburos y agua mediante la separación natural por densidades, además cuenta con un recolector de hidrocarburo o skimmer , con una estación de bombeo para recoger los hidrocarburos y enviarlos al tanque slop, la misma se opera de forma manual, cuenta como tratamiento final antes del vertimiento con los filtros de aserrín para la captación de los hidrocarburos cuando logren sobrepasar la etapa de separación por densidad, obligándolos a que pasen todos los efluentes por él, este elemento funciona mal, debido a mala operación de todo este sistema que provoca que durante la presencia de precipitaciones el volumen a tratar se incremente debido a

la incorporación de gran parte de los escurrimientos de drenajes superficiales en varios puntos de este sistema, provocando que este último elemento no cumpla su objetivo permitiendo el paso de hidrocarburos al medio ambiente.

La Trampa de destino final vierte sus desechos mediante un colector que va al arroyo Cabaiguán el cual es afluente del arroyo Paraíso, al que son vertidos también los residuos de la Trampa 46, solo que en puntos diferentes.

La Trampa de grasa 46, cuyo funcionamiento está basado en la diferencia de densidades entre los hidrocarburos y el agua y un sistema de filtros que facilita la separación de los hidrocarburos, aceites y grasa, se encuentra ubicada al sur de la Refinería, aledaña a los tanques Nº 60 y 61, que almacenan crudo y del tanque Slop.

Según estudios y observaciones realizadas en la Refinería, a esta trampa llega un gasto máximo aproximado de 100 m^3/d y recibe los residuales provenientes de:

- Una parte del área de tanques para almacenamiento de la refinería.
- Planta de fregado y taller de la División de Transcupet.
- Área donde se encuentra ubicada la División de la Empet.
- Pluviales de la Planta de Aceites perteneciente a Cubalub.

La Trampa 46 actualmente no funciona correctamente, lo que provoca que pase una gran cantidad de hidrocarburos hacia los residuos que se vierten adicionalmente y debido a su ubicación cuando se producen grandes lluvias, toda la zona se inunda, se desbordan los separadores de la trampa, lo que conlleva al arrastre de hidrocarburos, contaminando los terrenos al sur de la Refinería.

Esta trampa vierte los residuos que salen de la misma hacia un arroyo que bordea la zona sur de la Refinería, que no cumplen con los valores establecidos por las Normas Cubanas Ambientales vigentes, cuyos objetivos son los de minimizar las afectaciones al medio ambiente.

2.2 Caracterización del residual líquido

La caracterización del residual líquido se hizo posible a través de la toma de muestras durante tres días, aunque durante los dos primeros la planta no se encontraba funcionando solo se produjo aceites, la planta comenzó a funcionar al tercer día, siendo la producción pequeña porque se recirculó durante mucho tiempo

el crudo debido a que no se encontraba en los parámetros de calidad establecidos, siendo el total de crudo corrido de 59,86 t, desglosado en crudo de Pina 43,30 t y de Matanzas 16, 56 t y las producciones fueron de nafta 5,86 t, solvente 18,49 t, diesel 3,90 t y fuel medio 47,44 t.

Durante los tres días se tomaron muestras y se realizaron análisis a la salida de la trampa central, del vertimiento final (trampa 46), entrada y salida del filtro de virutas siendo su composición: petróleo crudo, corromín, disolvan, agua condensada, carbonato de calcio ($CaCO_3$), sales, hidróxido de sodio (NaOH) e hidrocarburos.

Tabla No 2. Identificación de las muestras tomadas al Sistema de Tratamiento de Residuales

N^{O} MUESTRA	**IDENTIFICACIÓN**
1	Salida de la Trampa central
2	Entrada Filtro de virutas
3	Salida Filtro de Virutas
4	Vertimiento final (trampa 46)
1A	Salida de la Trampa central
2A	Entrada Filtro de virutas
3A	Salida Filtro de Virutas
4A	Entrada Trampa 46
5A	Vertimiento final (trampa 46)
1B	Salida de la Trampa central
2B	Entrada Filtro de virutas
3B	Salida Filtro de Virutas
4B	Entrada Trampa 46
5B	Vertimiento final (trampa 46)
1C	Salida de la Trampa central
2C	Entrada Filtro de virutas
3C	Salida Filtro de Virutas

4C	Entrada Trampa 46
5C	Salida Filtro (trampa 46)
6C	Vertimiento final (trampa 46)
1D	Salida de la Trampa central
2D	Entrada Filtro de virutas
3D	Salida Filtro de Virutas
4D	Entrada Trampa 46
5D	Salida Filtro (trampa 46)
6D	Vertimiento final (trampa 46)

Los análisis de laboratorio fueron realizados por el laboratorio de la Refinería Sergio Soto.

Tabla No 3. Resultados del muestreo del Sistema de tratamientos de residuales el primer día en la mañana.

N^O M	Amoniaco (ppm)	Hierro (ppm)	Cloruros (ppm)	pH	DQO_{Cr} (mg/l)	DBO_5 (mg/l)
1	2,0138	0,084	7,5485	11	314	105
2	8,4425	0,090	7,1416	8	105	35
3	Error	0,093	7,9142	7	127	42
4	7,0483	0,046	8,1996	7	216	72

Tabla No 4. Resultados del muestreo del Sistema de tratamientos de residuales el primer día en la tarde.

N^O M	Amoniaco (ppm)	Hierro (ppm)	Cloruros (ppm)	pH	DQO_{Cr} (mg/l)	DBO_5 (mg/l)
1A	3,2145	0,092	37,4227	9	430	143
2A	7,9777	0,1457	6,3480	8	147	49

3A	0,6351	0,262	56,0536	7	89	30
4A	0,408	0,185	10,254	8	330	78
5A	4,1050	0,346	5,8190	7	249	86

Tabla No 5. Resultados del muestreo del Sistema de tratamientos de residuales el segundo día en la mañana.

N^O M	Amoníaco (ppm)	Hierro (ppm)	Cloruros (ppm)	pH	DQO_{Cr} (mg/l)	DBO_5 (mg/l)
1B	0,052	0,214	0,563	10	442	147
2B	0,0774	0,278	7,854	9	218	73
3B	Error	0,157	48,4531	9	231	77
4B	0,1549	0,123	19,3087	8	432	144
5B	13,3220	0,364	49,3299	7	311	104

Tabla No 6. Resultados del muestreo del Sistema de tratamientos de residuales el tercer día en la mañana.

N^O M	Amoníaco (ppm)	Hierro (ppm)	Cloruros (ppm)	pH	DQO_{Cr} (mg/l)	DBO_5 (mg/l)
1C	24,5529	Error	29,8889	9	234	78
2C	19,9056	Error	7,1542	7	169	56
3C	10,2239	0,218	11,6381	8	220	73
4C	Error	Error	21,142	7	264	85
5C	24,9401	0,848	26,4504	9	238	79
6C	57,0091	0,132	17,9862	9	642	93

Tabla No 7. Resultados del muestreo del Sistema de tratamientos de residuales el tercer día en la tarde.

N^{O} M	Amoníaco (ppm)	Hierro (ppm)	Cloruros (ppm)	pH	DQO_{Cr} (mg/l)	DBO_5 (mg/l)
1D	19,2085	0,114	46,2082	7	187	62
2D	1,9363	0,254	22,2183	7	148	49
3D	14,1740	0,00	6,0835	7	150	50
4D	16,2653	0,239	24,9956	8	420	55
5D	17,2722	0,239	83,98	8	364	188
6D	36,0935	0,056	33,7242	9	251	163

Para analizar los resultados se tomó como referencia los límites máximos permisibles que rige la **NC 27: 2012 "Vertimiento de las Aguas residuales a las Aguas Terrestres y al Alcantarillado**", la cual establece estos límites para cada parámetro teniendo en cuenta la clasificación del cuerpo receptor que recibe directa o indirectamente la carga o efectos contaminantes producto del vertido de las aguas residuales.

Se pudo apreciar en los valores de los análisis realizados, como los resultados se comportan superior (Ver anexo). Estos valores reflejan que el grado de eficiencia del STR, el cual es bajo por las causas antes mencionadas, las cuales influyen directamente en el funcionamiento del mismo, además se pudo observar que el residual en el efluente posee alto contenido de hidrocarburo.

No se pudo evaluar la eficiencia del sistema constituido por la Trampa Central y la de Destino Final porque fue imposible tomar la muestra a la entrada.

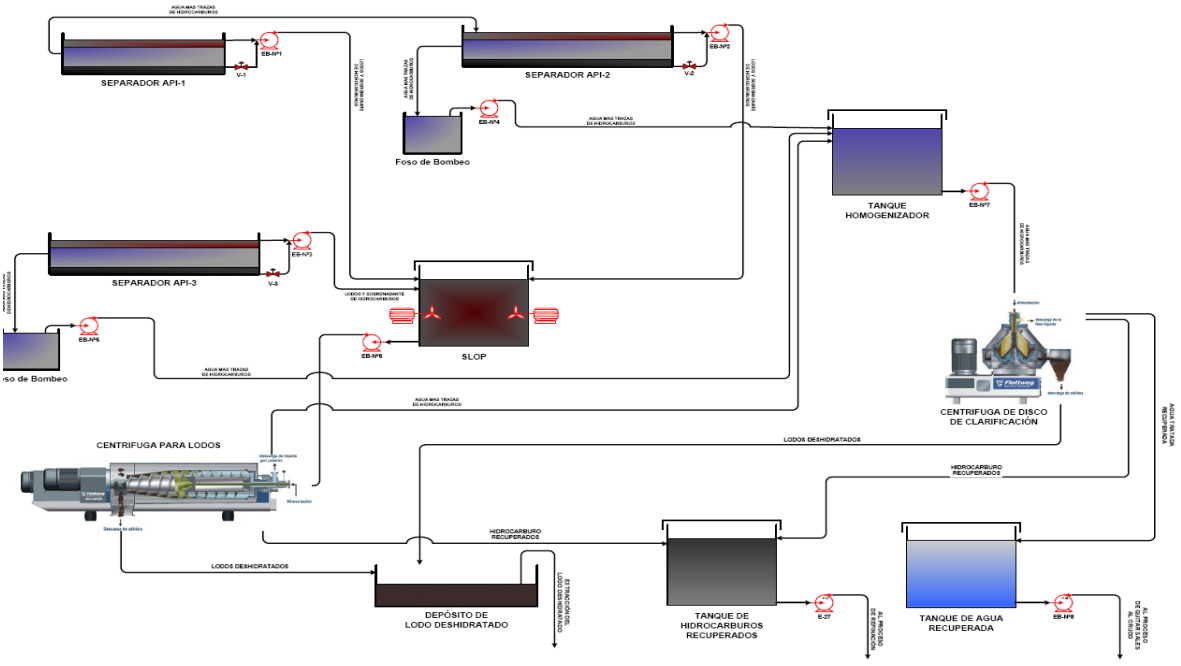
2.3. Propuesta del sistema tratamiento para el residual líquido

Según las características del residual a tratar y su volumen se propone la siguiente alternativa cuyo objetivo principal es lograr la mayor remoción de los compuestos

presentes en el mismo, logrando recuperar gran cantidad de hidrocarburos y el reúso del agua en el proceso tecnológico.

El sistema de tratamiento propuesto consta de dos fases: la primera es la recuperación de la infraestructura existente para poder devolverle sus características de diseño y elevarle la eficiencia en la separación de los hidrocarburos, y la segunda fase es la puesta en marcha de un nuevo módulo de tratamiento terciario. Además, se pretende brindar soluciones para evitar el entrecruzamiento del agua pluvial y la conducción de los residuales líquidos.

Foto No 1. Diagrama tecnológico del sistema de tratamiento de residuales líquidos refinería "Sergio Soto"



Primera fase: Recuperación de la infraestructura existente

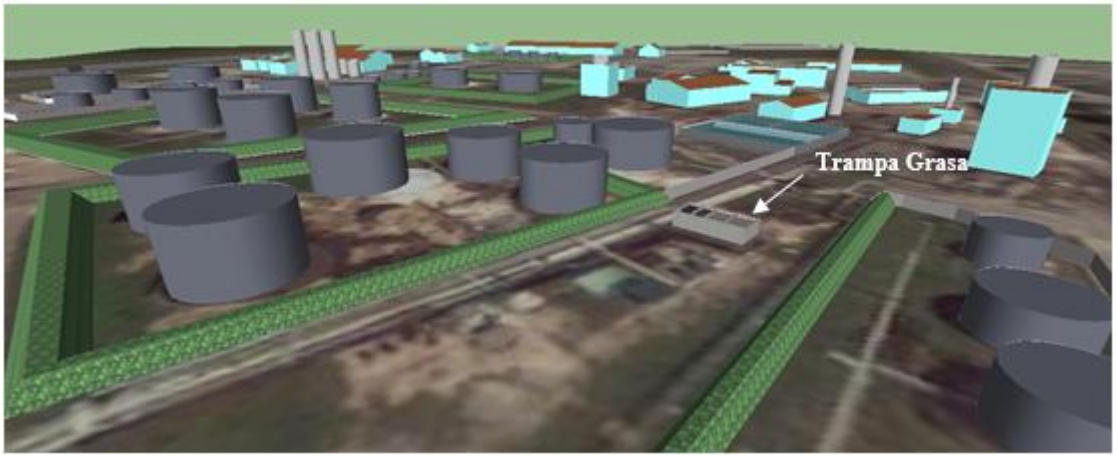
Trampa de Grasa (separador API)

La trampa de grasa se encuentra altamente deteriorada, la misma debe ser reconstruida agregándole un skimmer para la recuperación de los hidrocarburos sobrenadantes y una cámara o foso de bombeo para acumular estos hidrocarburos, se debe sustituir la bomba para recuperar estos hidrocarburos por dos equipos de bombeos nuevos, los cuales contarán con sensores de niveles para su accionamiento automático, siempre uno de los dos será la bomba de reserva o de

emergencia según la situación de trabajo. La tubería de impulsión se mantendrá pues la misma se encuentra en buen estado técnico, esta garantiza que los hidrocarburos recuperados en esta trampa API se depositen actualmente y en el futuro en el tanque Slop.

El volumen del foso de bombeo será de 4 m^3, el cual garantizará una recolección de hidrocarburo promedio de 10,50 m^3/d para una jornada laboral de 8 h a razón de un caudal promedio de 0,36 l/s.

Foto No 2. Trampa de Grasa



Trampa Central (separador API).

La trampa central se encuentra ubicada en la zona noreste de las instalaciones la misma cuenta con dos separadores API en serie, el primero requiere un mantenimiento capital para devolverle sus parámetros de diseño, se debe recuperar todos los elementos metálicos presente en el primer módulo. Se debe ejecutar una solución de bypass que permita el aislamiento de una o de las dos trampas de ser necesaria para poder proceder a los mantenimientos.

El módulo número dos debe ser reconfigurado agregándole un skimmer y un foso de acumulo de hidrocarburo vinculado con el de la trampa Nº 1 para garantizar la extracción de todo el hidrocarburo con una sola estación de bombeo, el cual bombeará el hidrocarburo hacia el área donde se encuentra ubicado el tanque de almacenamiento de hidrocarburos recuperados perteneciente al sistema de tratamiento terciario, para ello se ejecutará una nueva tubería de impulsión.

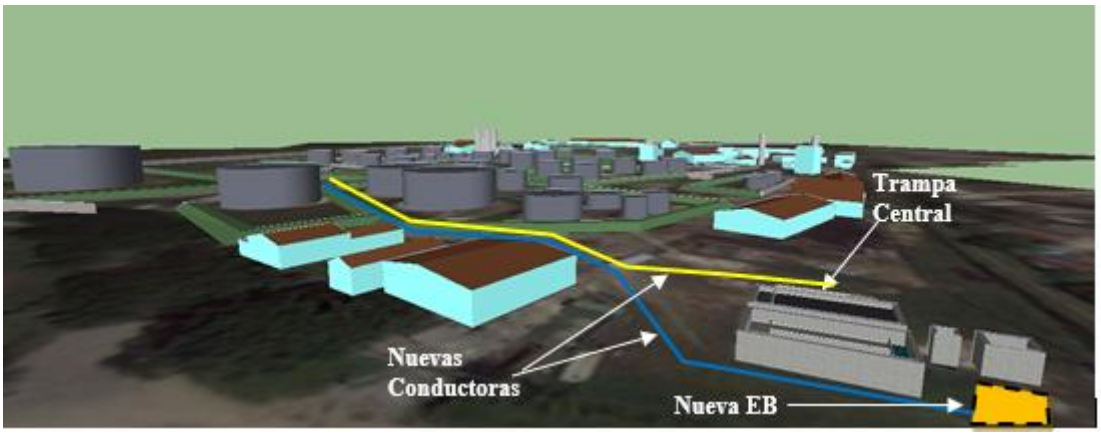
Otro elemento a tener en cuenta es el actual filtro de virutas el cual será transformado en foso de bombeo para impulsar el líquido con trazas de

hidrocarburos provenientes de los dos separadores API, mediante dos bombas, hasta el área donde se encuentra el tratamiento terciario específicamente al tanque de almacenamiento de residual líquido con trazas de hidrocarburos, para ello será necesario la construcción de una tubería de impulsión nueva.

El volumen del foso de bombeo de hidrocarburos será de 8 m^3, el cual garantizará una recolección de hidrocarburo promedio de 6,84 m^3/d para una jornada laboral de 8 h a razón de un caudal promedio de 0,24 l/s. Cuando por motivos de mantenimiento sea necesario el aislamiento de la trampa de grasa será capaz de recolectar un promedio de 17,34 m^3/d para una jornada laboral de 8 h a razón de un caudal promedio de 0,60 l/s.

El volumen del foso de bombeo de agua con trazas de hidrocarburos será de 15,00 m^3, el cual garantizará una recolección de hidrocarburo promedio de 42,66 m^3/d para una jornada laboral de 8 h a razón de un caudal promedio de 1,48 l/s.

Foto No 3. Trampa Central



Trampa 46 (separador API)

La trampa 46 se encuentra ubicada al sureste de las instalaciones de la refinería, la misma necesita una reparación capital tanto de sus elementos civiles como mecánicos (skimmer, válvulas, tuberías, etc.), con el objetivo de devolverles todo su potencial de diseño, se sustituirá el equipo de bombeo actual por nuevas bombas las cuales bombearán los hidrocarburos y aceites hacia el tanque de almacenamiento de hidrocarburos recuperados del sistema de tratamiento terciario. Para completar este módulo de tratamiento es necesario la construcción de otro separador API similar al existente garantizando con ello en una primera etapa el mantenimiento general del separador Nº1, para ello es necesario la ejecución de un

sistema de bypass el cual garantice el aislamiento indiferentemente de uno de los dos o de los dos separadores, además de que permita poner el sistema en paralelo o en serie según la necesidad de operación.

El nuevo separador constará con una estación de bombeo igual al existente, donde se bombeará el hidrocarburo y aceites hacia el tanque de almacenamiento de hidrocarburos recuperados del sistema de tratamiento terciario. Se construirán dos líneas de conducción desde las estaciones de bombeo hasta el tanque de hidrocarburos recuperados.

Otro elemento a direccionar sus funciones es el actual filtro de virutas el cual será transformado en foso de bombeo para impulsar el líquido con trazas de hidrocarburos provenientes de los dos separadores API, mediante dos bombas, hasta el área donde se encuentra el tratamiento terciario específicamente al tanque de almacenamiento de residual líquido con trazas de hidrocarburos, para ello será necesario la construcción de una tubería de impulsión nueva.

El volumen de cada uno de los fosos de bombeo de hidrocarburos será de 10 m^3, el cual garantizará una recolección de hidrocarburo promedio de 28,27 m^3/d para una jornada laboral de 8 h a razón de un caudal promedio de 0,98 l/s. Cuando por motivos de mantenimiento sea necesario el aislamiento de una de las trampas de grasa, será capaz de recolectar un promedio de 28,27 m^3/d para una jornada laboral de 8 h a razón de un caudal promedio de 0,98 l/s.

El volumen del foso de bombeo de agua con trazas de hidrocarburos será de 15 m^3, el cual garantizará una recolección de hidrocarburo promedio de 71,10 m^3/d para una jornada laboral de 8 h a razón de un caudal promedio de 2,47 l/s.

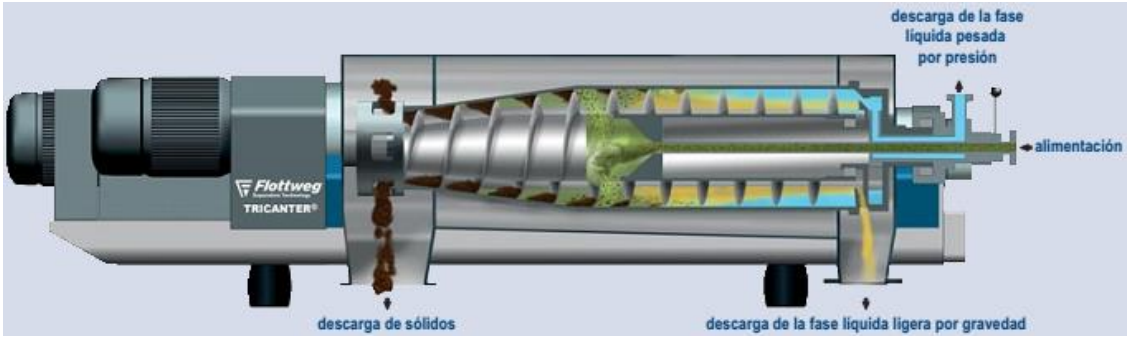
Foto No 4. Área del nuevo módulo trampa 46

Segunda fase: Sistema de tratamiento terciario

Se propone la incorporación de un nuevo módulo de tratamiento (tratamiento terciario) con el objetivo de garantizar la eficiente separación de los hidrocarburos y aceites del agua, logrando que cada uno de estos fluidos pueda ser reutilizado en el proceso industrial. Las instalaciones se podrán construir en un área aledaña a la de la trampa 46 para ello es necesario la ejecución de una plataforma tecnológica la cual será el soporte de tres tanques de almacenamiento de acero apoyados sobre el terreno de 160,00 m^3 de capacidad para acumular los hidrocarburos y aceites recuperados en los separadores API, el cual contiene sólidos petrolizados y trazas de agua en su mezcla, otro para el almacenamiento del agua con trazas de hidrocarburos provenientes del área de los separadores API (Trampa Central y Trampa 46) y del agua recuperada mediante la centrifugación de los hidrocarburos y aceites del tanque Nº1, el tercer tanque es el destinado para la acumulación del agua ya clarificada proveniente de la centrífuga de disco, esta agua se encontrará lista para ser reutilizada o vertida al medio.

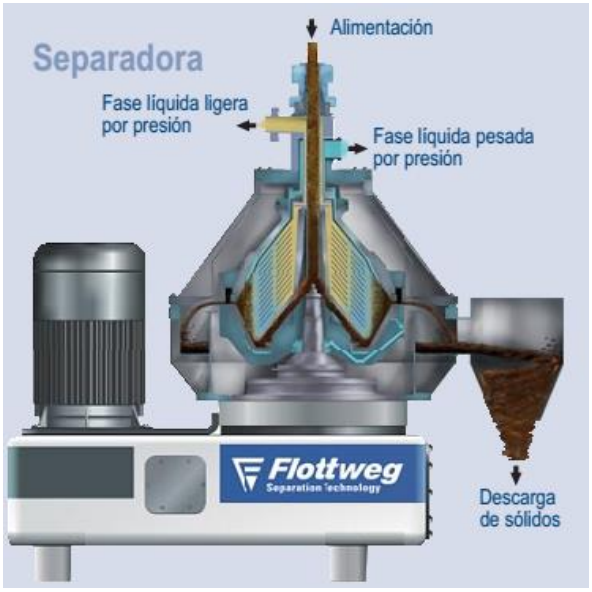
En este complejo se colocará una centrífuga horizontal del tipo sinfín (tricanter) con el objetivo de separar la mezcla proveniente del tanque de hidrocarburos recuperados (T-Nº1) mediante la técnica de centrifugación en hidrocarburos y aceites, lodos petrolizados con un alto grado de deshidratación y aguas con pequeñas trazas de hidrocarburos y lodos, esta centrífuga es un módulo compacto generalmente comercializados en contenedores.

Foto No 5. Centrífuga horizontal



Se colocará también un módulo que contiene una centrífuga de disco (tricanter) la cual tiene el objetivo de la clarificación del agua proveniente del tanque de aguas con trazas de hidrocarburos (T-Nº2) separándola en lodos, hidrocarburos y aceites y agua clarificada, por lo general se comercializa en contenedores acompañado de todos los dispositivos necesarios para procesar este tipo de residual.

Foto No 6. Centrífuga de Discos



Otros de los objetos que componen el tratamiento terciario es la colocación de dos estaciones de bombeo, una con el objetivo de bombear los hidrocarburos recuperados por ambas centrífugas colocándolo en el tanque Nº 61 para que puedan ser reincorporados al proceso, la otra estación de bombeo es la encargada de impulsar el agua clarificada desde esta área hasta la ubicación del tanque Nº 23 para que pueda ser reutilizado a partir de este en el proceso.

Cada módulo de centrifugación contará con un pequeño cubeto donde se depositarán los lodos extraídos de cada una de las muestras para luego puedan ser dispuestos en las áreas de biorremediación con que cuenta la industria para su tratamiento final. Todo el sistema estará automatizado garantizando de esta forma que funcione de forma autónoma brindando la posibilidad en cuanto se requiera de pasar a control manual. En cuanto a que no sea necesario la reutilización del agua clarificada, ésta mediante un rebozo que contendrá el tanque Nº3 será vertido a la tubería de drenaje existente aledaño al área donde se encuentra ubicado y de esta será dispuesto a la vaguada natural cumpliendo con lo establecido en la NC 27:2012.

El tanque Nº 1 de recolección de hidrocarburos recuperados tendrá una capacidad de 160 m^3 el cual tendrá un tiempo de llenado con una frecuencia de 3,5 d a razón de unos 45,61 m^3/d, este tanque constará de aspersores de fondo que mantendrán la mezcla homogénea, para luego ser utilizada por la centrífuga tipo sinfín.

El tanque Nº 2 de recolección de agua con trazas de hidrocarburos tendrá una capacidad de 160 m^3 el cual tendrá un tiempo de llenado con una frecuencia de 1,09 d a razón de unos 145,61 m^3/d, desde aquí este fluido pasará por la centrífuga de disco para maximizar su clarificación.

El tanque Nº 3 de recolección de agua clarificada tendrá una capacidad de 160 m^3 el cual tendrá un tiempo de llenado con una frecuencia de 1,05 d a razón de unos 151,58 m^3/d, desde aquí este fluido pasará por la centrífuga de disco para maximizar su clarificación.

La centrífuga tricanter para la separación de lodos, hidrocarburos y agua, trabajará durante ciclos de 5 h y será capaz de separar con esta capacidad de tratamiento un volumen aproximado de 77,68 m^3/d de hidrocarburos con trazas de agua y de lodos listos para ser reutilizados en el proceso, otro derivado es agua con pequeñas trazas de lodos e hidrocarburos en el orden de 52,77 m^3/d el cual será colocado en el tanque Nº2 y como último derivado se obtiene el lodo deshidratado con trazas de agua e hidrocarburos, el mismo se encontrará en valores aproximados a los 27,21 m^3/d.

Con esta tecnología se prevé recuperar un volumen de hidrocarburos y aceites mensual de 665,82 m^3/mes, un volumen de agua de 474,93 m^3/mes y de sólidos deshidratados de 244,89 m^3/mes.

La centrífuga de disco para la clarificación de agua donde se obtiene agua, hidrocarburos y lodos, trabajará durante ciclos de 16,0 h y será capaz de separar con esta capacidad de tratamiento un volumen aproximado de 21,51 m^3/d de hidrocarburos con trazas de agua y de lodos listos para ser reutilizados en el proceso, otro derivado es agua clarificada con pequeñas trazas de lodos e hidrocarburos en el orden de 151,58 m^3/d el cual será colocado en el tanque Nº3 y como último derivado se obtiene el lodo deshidratado con trazas de agua e hidrocarburos el mismo se encontrará en valores aproximados a los 1,97 m^3/d.

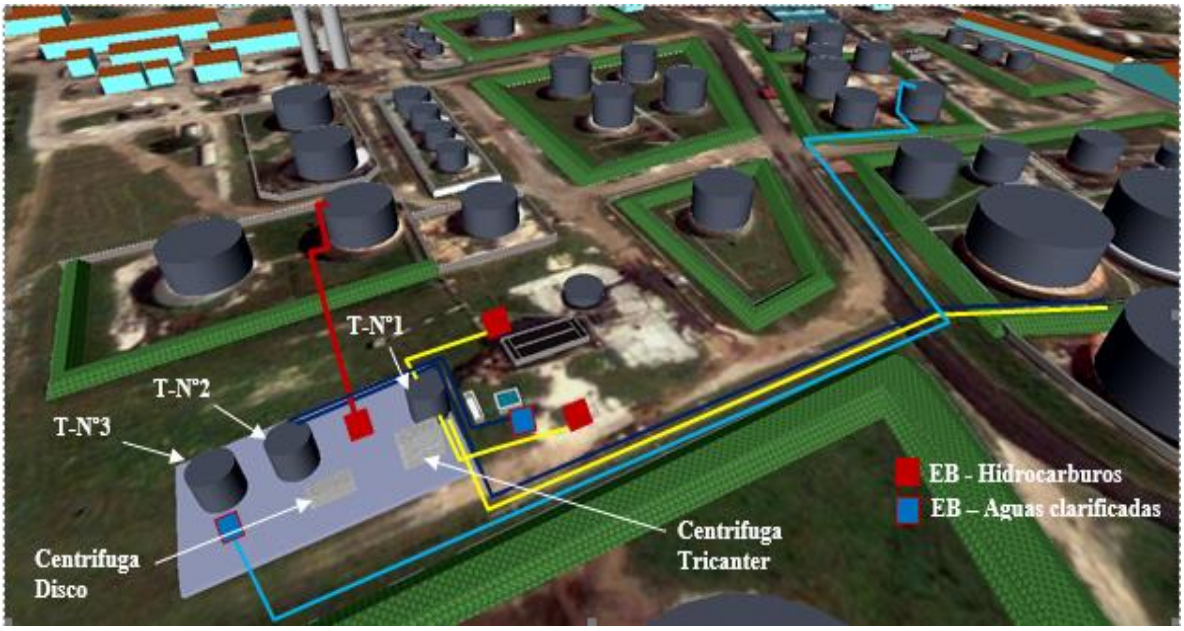
Con esta tecnología se prevé recuperar un volumen de hidrocarburos y aceites mensual de 460,92 m^3/mes, un volumen de agua de 3 183,18 m^3/mes y de sólidos deshidratados de 41,37 m^3/mes.

El equipo de bombeo para la impulsión de hidrocarburos al tanque Nº 61 y de agua clarificada a colocar en el tanque Nº23 serán cuatro bombas centrífugas de (dos bombas para la impulsión hacia cada tanque).

El volumen de la nueva cámara o foso de bombeo de hidrocarburos será de 10 m^3, el cual garantizará la recolección a gasto punta de 18,24 m^3/h (5,07 l/s) presente durante 5 h de forma continua. Cuando se encuentre en funcionamiento, solamente la centrífuga de disco, aportará un gasto de 1,35 m^3/h (0,375 l/s) durante 16 h de trabajo.

Las bombas encargadas de bombear el agua clarificadas hacia el tanque Nº23 estarán conectadas directamente al tanque Nº3 del sistema de tratamiento terciario, garantizarán impulsión a gasto constante de 32,4 m^3/h (9,0 l/s) durante 5 h de forma continua por día.

Foto No 7. Área del nuevo STR terciario



Separación del drenaje pluvial y la conducción de los residuales líquidos.

En un análisis integral del flujo tecnológico del sistema de tratamiento de residuales de la refinería se evidencia el entrecruzamiento de los escurrimientos pluviales y los propios de esta línea provocando que los tres separadores del tipo API colapsen durante la ocurrencia de precipitaciones, otro tanto sucede con el escurrimiento pluvial dentro de los cubetos contenedores en los cuales no existe ningún mecanismo retardador que impida la incorporación gradual de este escurrimiento al sistema de conducción de residuales al cual está previsto se incorpore.

Para la solución de esta problemática se propone las siguientes soluciones:

- Construir en las zonas de descargas de productos claros y oscuros un muro de contención compuesto por un contén simple a todo largo de las zanjas colectoras, para así evitar la incorporación del pluvial al sistema de recolección de residuales.
- En el área de refinación se deberá construir contenes simples en el perímetro de la misma teniendo en cuenta la construcción de dos badenes invertidos en las zonas donde es necesarios la entrada de carros a la misma, y evitar así la incorporación de los arrastres de tierra provocado por las precipitaciones a dicha zona.

- En el área de las calderas (al igual que en el área de refinación) será necesario la construcción de contenes simples alrededor de la misma para evitar la inundación de esta zona.
- En la planta de aceites se hará necesario la construcción de un badén invertido a la entrada de la misma, para evitar el arrastre de tierra a la misma durante las precipitaciones incorporándose a su vez al canal que atraviesa la entrada de la misma el cual conduce los residuales de esta zona.
- En la planta de lavado de carros se deberá construir un badén en el borde de la calle y al badén invertido que hoy existe para la entrada a la planta de lavado de carros se le subirá la cota sobre el mismo por encima de la cota de la calle para así evitar que el pluvial entre a la misma y que se incorpore al sistema de recolección de residuales.
- En la trampa 46 se construirá un muro de contención alrededor de toda el área y en la calle donde se encuentran los dos registros de descarga de crudo se construirá una rampa para que el pluvial circule entre la rampa y el muro de contención y entre la rampa y el dique de protección del tanque 46.
- Para mejorar el drenaje dentro de la industria se prevé la construcción de una obra de fábrica capaz de conducir todo el pluvial de la industria en la zona baja aledaña a la tapia atravesando la misma hasta las áreas aledañas a la vía férrea.

Teniendo en cuenta que el drenaje de la industria es superficial, el sistema diseñado es capaz de evitar que el agua pluvial entre a los puntos antes mencionados para así evitar que la incorporación del pluvial al sistema de residuales. Las barreras de contención compuestas por los contenes simples y los badenes, además del muro de contención y la rampa de la trampa 46 y la rampa de la planta de lavado de carros evitarán la incorporación del drenaje pluvial al sistema de recolección de residuales de la industria en las áreas antes mencionadas. Así como la obra de fábrica conducirá todo el caudal del escurrimiento de las lluvias dentro de la industria.

Capítulo 3

Capítulo III: Diseño y análisis económico

3.1 Diseño del nuevo separador API

Los principios en que se basan estos separadores, parten de los trabajos desarrollados en la Universidad de Wisconsin, así como en la experiencia adquirida en las múltiples unidades instaladas principalmente en la industria del petróleo.

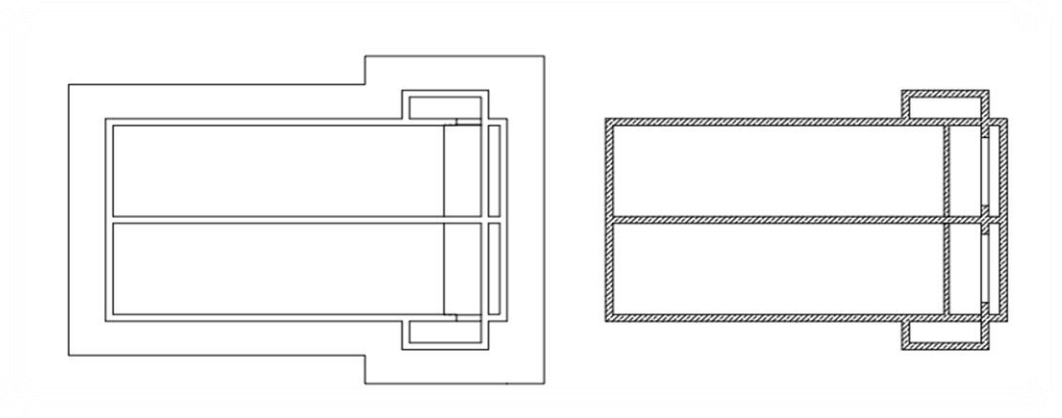
Este tipo de separadores consiste en un canal de sección rectangular, trabajando en régimen de flujo laminar y con un tiempo de retención que permita a las gotas de aceite al separarse alcanzar la superficie donde serán eliminadas.

A continuación, en la tabla 11 se muestra el dimensionamiento del separador API.

Tabla No 8. Dimensionamiento del separador API.

Cantidad de canales a utilizar	
n	2
Dimensionamiento constructivo por canal	
d	2 m
B	4 m
L	15 m
As	60 m^2
At	8 m^2
Al	30 m^2

Foto No 8. Planta general del separador API



3.2 Diseño del sistema de tuberías y de bombas

A continuación, en la tabla 12 se describe el sistema de tuberías instalado en el sistema de tratamiento propuesto.

Tabla No 9. Sistema de tuberías para la conducción del residual

Tuberías		Diámetro nominal (mm)	Cédula	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Longitud (m)
1	Succión	152,.4	40	168,28	162,17	2,5
	Impulsión	101,6	40	114,3	108,28	300
2	Succión	152,4	40	168,28	162,17	2,5
	Impulsión	101,6	40	114,3	108,28	310
3	Succión	152,4	40	168,28	162,17	10
	Impulsión	101,6	40	114,3	108,28	100
4	Succión	152,4	40	168,28	162,17	5
	Impulsión	101,6	40	114,3	108,28	50
5	Succión	152,4	40	168,28	162,17	6
	Impulsión	101,6	40	114,3	108,28	60
6	Succión	152,4	40	168,28	162,17	5
	Impulsión	101,6	40	114,3	108,28	250

Leyenda:

1- tuberías de impulsión de hidrocarburos recuperados desde la trampa central (acero al carbono).
2- tuberías de impulsión del agua con trazas de hidrocarburos recuperados desde la trampa central (acero al carbono)
3- tuberías de impulsión de hidrocarburos recuperados desde la trampa 46 (acero al carbono).
4- tuberías de impulsión del agua con trazas de hidrocarburos recuperados desde la trampa 46 (acero al carbono).
5- tuberías de impulsión de hidrocarburos recuperados desde las centrifugas (acero al carbono).
6- tuberías de impulsión del agua con trazas de hidrocarburos recuperados desde centrifugas (acero al carbono).

Bombas

Para bombear el residual líquido desde las diferentes trampas hasta el sistema de tratamiento terciario y de este hacia los tanques de almacenamientos fueron remplazadas las bombas centrífugas que se encontraban en operación por otras nuevas con las mismas características.

Tabla No 10. Equipamiento para la estación de bombeo y conducción de hidrocarburos recuperados desde la trampa de grasa hasta el tanque slop.

Dos bombas centrífugas		Un Cheque	Una válvula de cierre	Un metrocontador
Q=32,4 m^3/h	H=18 m	D= 4”	D= 4”	D=4”

Tabla No 11. Equipamiento para la estación de bombeo y conducción de hidrocarburos recuperados desde la trampa Central hasta el sistema de tratamiento terciario.

Dos bombas centrífugas		Un Cheque	Una válvula de cierre	Un metrocontador
Q=32,4 m^3/h	H=18 m	D= 4”	D= 4”	D=4”

Tabla No 12. Equipamiento para la estación de bombeo y conducción de hidrocarburos recuperados desde la trampa 46 hasta el sistema de tratamiento terciario.

Cuatro bombas centrífugas		Un Cheque	Una válvula de cierre	Un metrocontador
Q=32,4 m^3/h	H=10 m	D= 4”	D= 4”	D=4”

Tabla No 13. Equipamiento para la estación de bombeo y conducción de agua con trazas de hidrocarburos desde la trampa 46 hasta el sistema de tratamiento terciario.

Dos bombas centrífugas		Un Cheque	Una válvula de cierre	Un metrocontador
Q=32,4 m^3/h	H=15 m	D= 4”	D= 4”	D=4”

Tabla No 14. Equipamiento para la estación de bombeo y conducción de agua con trazas de hidrocarburos desde el sistema de tratamiento terciario hasta el tanque 61.

Dos bombas centrífugas		Un Cheque	Una válvula de cierre	Un metrocontador
Q=32,4 m^3/h	H=18 m	D= 4”	D= 4”	D=4”

Tabla No 15. Equipamiento para la estación de bombeo y conducción de agua con trazas de hidrocarburos desde el sistema de tratamiento terciario hasta el tanque 23.

Dos bombas centrífugas		Un Cheque	Una válvula de cierre	Un metrocontador
Q=32,4 m^3/h	H=18 m	D= 4”	D= 4”	D=4”

3.3 Tecnologías de centrifugación

Para la instalación del nuevo módulo de tratamiento terciario se importarán dos centrífugas, mostrando sus características en las siguientes tablas.

Tabla No 16. Características de la centrífuga horizontal

Modelo	Dimensiones (LxAxA) mm	Peso bruto (kg)	Potencia del motor (kW)	Capacidad Hidráulica Máxima (m^3/h)
Z4E	3 500 x 1 000 x 1 200	3 000	45	35

Tabla No 17. Características de la centrífuga de disco.

Modelo	Volumen máximo tambor (l)	Volumen máximo sólidos (l)	Potencia máxima motor (kW)	Dimensiones (LxAxA) mm	Peso bruto (kg)	Capacidad hidráulica (m^3/h)
AC1000	4	1,5	5,5	1 100 x 600 x 1 000	390	10

Con la implementación de esta tecnología se puede llegar a tratar un total de 360 m^3/d, en una jornada laboral de 8 h.

3.4 Análisis económico

A continuación, se muestran los valores estimado de los costos de ejecución de las acciones propuestas.

Tabla No 18. Valores del nuevo módulo de separador API

Partidas	**Valor CUP**	**Valor CUC**	**Valor moneda total**
Construcción y montaje	$173 000,00	$57 900,00	$233 000,00
Equipamiento	$6900,00	$51 100,00	$57 000,00
Otros	-	-	-
Totales	**$182 000,00**	**$108 000,00**	**$290 000,00**

Tabla No 19. Valores de pavimentación de viales y contenes

Partidas	Valor CUP	Valor CUC	Valor moneda total
Construcción y montaje	$217 500,00	$93 300,00	$310 800,00
Equipamiento	-	-	-
Otros	-	-	-
Totales	**$217 500,00**	**$93 300,00**	**$310 800,00**

Tabla No 20. Valores del drenaje en cubetos y otros

Partidas	Valor CUP	Valor CUC	Valor moneda total
Construcción y montaje	$42 700,00	$18 300,00	$233 000,00
Equipamiento	$3 200,00	$28 600,00	$55 000,00
Otros	$1 800,00	$700,00	$2 000,00
Totales	**$47 700,00**	**$47 600,00**	**$95 200,00**

Tabla No 21. Valores de la utilización de biorremediación.

Partidas	Valor CUP	Valor CUC	Valor moneda total
Construcción y montaje	$20 000,00	$65 000,00	$85 000,00
Equipamiento	-	-	-
Otros	-	-	-
Totales	**$20 000,00**	**$65 000,00**	**$85 000,00**

Tabla No 22. Valores reparación de Trampas API existentes.

Partidas	Valor CUP	Valor CUC	Valor moneda total
Construcción y montaje	$147 000,00	$63 000,00	$210 000,00
Equipamiento	$3 900,00	$35 400,00	$39 300,00
Otros	-	-	-
Totales	**$150 900,00**	**$98 400,00**	**$249 300,00**

Tabla No 23. Valores construcción de nuevos tanques.

Partidas	Valor CUP	Valor CUC	Valor moneda total
Construcción y montaje	$350 000,00	$150 000,00	$500 000,00
Equipamiento	$2 600,00	$1 400,00	$4 000,00
Otros	-	-	-
Totales	**$352 600,00**	**$151 400,00**	**$504 000,00**

Tabla No 24. Valores nuevo STR (Tratamiento Terciario).

Partidas	Valor CUP	Valor CUC	Valor moneda total
Construcción y montaje	$35 000,00	$15 000,00	$50 000,00
Equipamiento	$69 800,00	590 500,00	$656 000,00
Otros	$3 500,00	$1 500,00	$5 000,00
Totales	**$108 300,00**	**$607 000,00**	**$711 000,00**

Tabla No 25. Valores totales para el STR.

Partidas	Valor CUP	Valor CUC	Valor moneda total
Construcción y montaje	$985 200,00	$462 500,00	$1447 700,00
Equipamiento	$86 400,00	$707 000,00	$793 400,00
Otros	$5 300,00	$2 200,00	$7 500,00
Totales	**$1076 900,00**	**$1171 000,00**	**$2 248 500,00**

Para la obtención de los valores estimados de los trabajos a acometer se utilizaron:

- **Construcción y montajes:** El componente para la construcción y el montaje se estimó utilizando los costos establecidos en el PRECONS II, catálogo de precios de la construcción vigente, y la Resolución 368 del 2010 del MFP, precios estimados para ejecutar estos trabajos con los valores reales de las industrias de materiales locales y la utilización de los índices técnico económicos para la evaluación de inversiones de obras hidráulicas. “Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Villa Clara” principalmente utilizado para la valoración del STR terciario propuesto. Para la valoración de la divisa se estimó un 30 % del valor de la moneda total.

- **Equipamiento y suministros:** El equipamiento previsto será importado fundamentalmente, su valor se estimó utilizando precios de ofertas y valores reales de inversiones similares ejecutadas o en proceso. Los aranceles están calculados en Moneda Nacional, fijando su valor en el 10 % del valor de los suministros.

- **Otros gastos:** En este componente se incluye la estimación de las necesidades de documentación técnica requerida para la materialización de esta inversión, que contempla la documentación de licencias y permisos necesarios para acometer la misma de acuerdo a las regulaciones vigentes en nuestro país.

En total el costo de inversión para el tratamiento de residuales líquidos en la refinería “Sergio Soto” asciende a $2 248 500,00 en moneda total.

3.5 Obtención de beneficios tangibles

Teniendo en cuenta que se debe recuperar entre un 97 % de los hidrocarburos presentes en el residual se realizaron cálculos de beneficio por concepto de recuperación basados en por ciento de hidrocarburos presente en el residual, brindado por los técnicos de la industria. Los resultados del impacto en la recuperación se muestran a continuación.

Tabla No 26. Situación actual del sistema de tratamiento de residuales.

Volumen de residual generado	m^3/d	160
Volumen de residual generado	m^3/d	58 400
Concentración de hidrocarburos presentes en el residual	ppm	200
Volumen de crudo en el residual	m^3/año	11 680
Volumen de crudos acompañante en el residual	t/año	14 016
Eficiencia de recuperación del STR actual	%	70
Volumen de crudo recuperado	t/año	9 811,2
Ganancia neta por t en la industria	$/t	120
Ingresos generados por recuperación	$/año	1 177 344

Tabla No 27. Situación futura del sistema de tratamiento de residuales.

Volumen de residual generado	m^3/d	160
Volumen de residual generado	m^3/d	58 400
Concentración de hidrocarburos presentes en el residual	ppm	200

Volumen de crudo en el residual	m^3/año	11 680
Volumen de crudos acompañante en el residual	t/año	14 016
Eficiencia de recuperación del STR actual	%	97
Volumen de crudo recuperado	t/año	13 595,52
Ganancia neta por t en la industria	$/t	120
Ingresos generados por recuperación	$/año	1 631 462,4

Los beneficios anuales esperados son de $454 118,4.

3.6 Obtención de los costos anualizados totales (CAT)

Partiendo de los valores de inversión estimada, obtenemos el CAT de la nueva inversión.

- **Gasto de mano de obra.**

Utilización de operador con un salario promedio de $400 CUP al mes, al año se incurre en gasto de salario $4 800 CUP.

- **Amortización:**

Amrt = Costo Inversión/Nº de años

Amrt = $$2 248 500,00 /30 años

Amrt = $74 957

- **Operación y mantenimiento:**

OpMat = Costo Inversión (4 %) + (volumen de agua) *(tarifa de agua no regulada)

OpMat = $2 248 500,00 (0,04) + 243,09

OpMat = $ 90 183,09

- **Anualidad:**

Anl = Costo inversión (8 %)

Anl = $2 248 500,00(0,08)

Anl = $179 880

- **Costos Anualizados Total (CAT):**

CAT = MO + Amrt + OpMat + Anl

CAT = $4 800 +$74 957 + $89 940 + $179 880

CAT = $349 577

Los costos anualizados totales de las nuevas inversiones se estiman en unos **$349 577** moneda total.

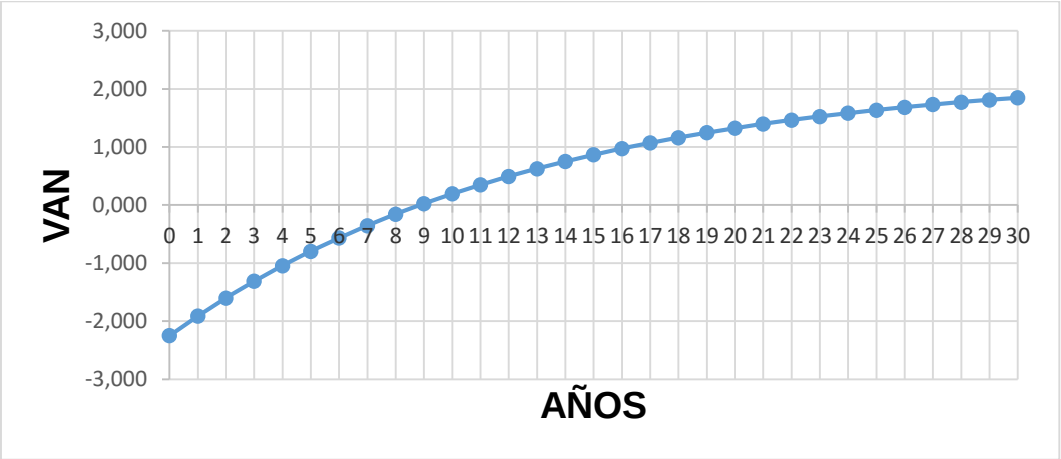
3.7 Cálculo de los indicadores económicos de rentabilidad

Para conocer la rentabilidad del tratamiento propuesto se realizó el cálculo de tres indicadores económicos muy importantes como son: el valor actual neto (VAN), la tasa de reproducción interna (TRI), y el periodo de recuperación de la inversión (PRI). Las operaciones de cálculos fueron realizadas a través del paquete estadístico de Microsoft Excel, con una tasa anual de descuento de un 8 % y 30 años para el pago de la amortización.

La obtención de un valor actual neto mayor que cero indica que se puede realizar dicha inversión pues se producirá excedentes superiores, precisamente en la cuantía del valor actual neto, a los que podrían obtenerse invirtiendo la misma cantidad a la tasa de descuento. La tasa de reproducción interna es la tasa de interés a un valor actual neto igual a cero.

Los resultados mostrados en el grafico No 1 indican valores del VAN igual a 1,849$, el TRI igual a 16 % y un periodo de recuperación de la inversión en 9 años.

Gráfico No 1. Resultados de los indicadores económicos



Conclusiones

- En la revisión bibliográfica realizada sobre el tema objeto de estudio se puntualiza las características de los residuales líquidos que generan el proceso tecnológico de una refinería, así como el tratamiento de aguas residuales.
- El sistema de tratamiento de residuales líquidos en el proceso tecnológico en la Refinería “Sergio Soto” de Cabaiguán es obsoleto, no garantiza un tratamiento eficiente del residual que se genera y cuando ocurren intensas lluvias parte del escurrimiento que estas provocan se mezclan con este residual provocando serias afectaciones al medio ambiente.
- Se pudo apreciar en el análisis realizado del residual líquido en el sistema de tratamiento que se alcanzan valores superiores a los de los límites máximo permisibles promedio para las descargas de aguas residuales según la clasificación del Cuerpo Receptor que establece la NC 27: 2012.
- Se diseñó un sistema de tratamiento de los residuales líquidos en el proceso tecnológico en la refinería “Sergio Soto, incluyendo nuevos objetos de obras que complementan y hacen más eficiente el funcionamiento del sistema de tratamiento y se introduce la centrifugación como nueva tecnología que permite reutilizar el hidrocarburo y el agua en el proceso productivo. Además, se logra solucionar el entrecruzamiento del escurrimiento pluvial con el residual y evitar daños al medio ambiente.
- La valoración económica del sistema de tratamiento propuesto, a partir de los resultados obtenidos en el estimado de los costos, la valoración de los beneficios, y a través del análisis de los indicadores económicos TRI, VAN y PRD demuestra que el mismo es factible desde el punto de vista económico, lo que permitirá recuperar la inversión en un período de 9 años.

Recomendaciones

- Garantizar un sistemático control de mantenimiento a la infraestructura en cuestión logrando su funcionabilidad.
- Hacer una evaluación del sistema de tratamiento de residuales periódicamente.

Referencias bibliográficas

ANDRÉ, P. 2014. *Procesos de depuracion de los efluentes liquidos de actividades petroliferas.* Caminos.

CONTRIBUTORS, W. 2014. Ingeneria de aguas residuales. *In:* WIKILIBROS (ed.).

DE TURRIS, A., YABROUDI, S. C., VALBUENA, B., GUTIÉRREZ, C., CÁRDENAS, C., HERRERA, L. & ROJAS, C. 2011. Tratamiento de aguas de producción por flotación con aire disuelto. *Joven ciencia,* 36, Nº 3.

DUARTE ALVAREZ, Y. 2014. *"Propuesta de tratamiento para los residuales generados en la Planta de Aceites Básicos de la Refinería Sergio Soto".* Universidad Central" Marta Abreu" de las Villas.

ESPINOZA ANGULO, A. P. 2015. *Estudio del crecimiento de la Biomasa en la piscina de Fangos Activos del área de Tratamiento de Efluentes de la Refinería Estatal Esmeraldas [REE].*

FELIPE, K. 2016. La ruta del petróleo en Cuba (Primera Parte). *Granma*.

FORERO, J.-E., ORTIZ, O.-P. & RIOS, F. 2005. Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería. *CT&F Ciencia, Tecnología y Futuro,* 3.

GONZÁLEZ ÁGUILA, E. E. 2012. *Propuesta de tratamiento para los residuales líquidos generados en la planta de aceites básicos de la Refinería Sergio Soto Alba.* Universidad Central" Marta Abreu" de las Villas.

HERNANDO MARCOS, P. 2011. *Planta de tratamiento de aguas residuales de proceso (edari) de una petroquímica.* Escuela de Organizacion industrial.

HERRERA, J. E. G. 2016. *Evaluación de los riesgos de accidentes graves en los procesos auxiliares y de producción de aceites básicos de la refinería "Sergio soto Valdés" de Cabaiguán.*, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.

KRAUS, R. 2001. Proceso de refino del petróleo. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo,* III, Cap 78.

MARTÍNEZ GONZÁLEZ, R. & FIGUEROA VALDIVIA, L. M. 2016. Impactos ambientales de la destilería de petróleo de cabaiguán.

MATHPRO. 2011. INTRODUCCIÓN A LA REFINACIÓN DEL PETRÓLEO Y PRODUCCIÓN De GASOLINA Y DIÉSEL CON CONTENIDO ULTRA BAJO DE AZUFRE Available: www.mathproinc.com.

MORATÓ, J. 2009. *Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas*, TECSPAR.

NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2012. VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A LAS AGUAS TERRESTRES Y AL ALCANTA RILLADO. ESPECIFICACIONES. Octubre, 2012 ed.

RODRÍGUEZ CONSUEGRA, C. 2012. *Análisis de Ciclo de Vida en la refinería "Sergio Soto" del municipio Cabaiguán, provincia Sancti Spíritus.* Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas

SANEAMIENTO, A. A. D. 1986. Principios para el diseño y la operacion de plantas de tratamiento de aguas residuales de refinerías de petroleo. Instructivo A 701

VALDEZ IRIARTE, C. W. 2011. *Tratamiento físico químico de residuos oleosos.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.

Bibliografía

2003. Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles de fuentes fijas, Instituto Nacional de Ecología.

Álvarez, j. N., rodríguez, a. Á., pompa, n. P., marañón, a. & reyes, e. D. F. 2010. Impacto ambiental de la industria petrolífera de Santiago de cuba. Caracterización.

BETANCOURT[1], C., LABAUT[1], Y. & BONACHEA, M. 2011. Propuestas para el tratamiento de los residuales líquido generados en la fabricación de aceites en la refinería Sergio Soto.

CAMPOS, D. J. & JIMÉNEZ, M. P. 2009. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras–aplicación campo colorado. Tesis de pregrado, Dep. Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga-Colombia.

CANCHINGRE-BONE, M. E., MOSQUERA-QUINTERO, G., MORALES-PÉREZ, M. & GALÁN-RIVAS, V. 2016. LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS EMPRESARIALES DE LA REFINERÍA ESTATAL ESMERALDAS, REPÚBLICA DEL ECUADOR. Ciencia en su PC.

CARRASCO, M. & ORE, J. 2000. Tratamiento de las borras acidas producidas en la manufactura de las bases lubricantes del tipo lCT en la Refinería Talara, Perú. Revista INGENIERÍA UC, 7.

CASTAÑEDA JIMENEZ, A. C. 2014. Procesos de oxidación avanzada aplicados en el tratamiento de agua de la industria del petroleo. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

ECHE ESPINOZA, J. J. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS INDUSTRIALES GENERADOS EN UNA REFINERÍA. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica, 6, 20-31.

FONG, I. A. & RUIZ, A. T. D. El petróleo y su proceso de refinación.

GALIANO FUENTES, A. J. 2008. Implementación del sistema de producción, tratamiento, almacenaje y transferencia de turbo A-1 en Refinería Conchan.

JACHILLA, F. & CARINA, V. 2009. Desemulsificación de tanques de slop por tratamiento en frío en refinería La Pampilla.

LAPEÑA, M. R. & RIGOLA, M. 1989. Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales, Marcombo.

LIPTÁK, B. 2006. Process control and optimization II.

MARQUEZ, J. J. R. 2015. Viabilidad de la fotólisis del peróxido de hidrógeno (h2o2/uv) para la reutilización de aguas residuales industriales: aplicación a las aguas de una refinería de petróleo. Universidad de Cádiz.

OSPINA, J. A. & VILLADA-GIL, S. 2011. Métodos para Caracterizar Combustibles Líquidos y Gaseosos Obtenidos de Llantas en Desuso a Través de las Normas ASTM. Lámpsakos, 23-31.

PRIETO, L. P., MARTÍN, J. H., SANABRIA, M. & EN QUÍMICA, L. Tratamiento y disposición final de lodos aceitosos resultantes de los procesos de producción y extracción de crudo.

PUNNARUTTANAKUN, P., MEEYOO, V., KALAMBAHETI, C., RANGSUNVIGIT, P., RIRKSOMBOON, T. & KITIYANAN, B. 2003. Pyrolysis of API separator sludge. Journal of analytical and applied pyrolysis, 68, 547-560.

ROJAS, C., RINCÓN, N., DÍAZ, A., COLINA, G., BEHLING, E., CHACÍN, E. & FERNÁNDEZ, N. 2008. Evaluación de una unidad de flotación con aire disuelto para el tratamiento de aguas aceitosas. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 31, 50-57.

SALAS, G. & ALE, N. 2008. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA REFINERÍA DE PETRÓLEO POR OXIDACIÓN AVANZADA (AOX), USANDO EL REACTIVO FENTON (H2O2/Fe^(2+)). Revista Peruana de Química e Ingeniería Química, 11, 12-18.

SANTA, J.-R., SERRANO, M. & STASHENKO, E. 2002. Análisis comparativo de diferentes métodos de extracción de hidrocarburos presentes en aguas residuales industriales. CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro, 2, 49-60.

SEGUÍ AMÓRTEGUI, L. A. 2004. Sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales. Metodología para el análisis técnico-económico y casos, Universitat Politècnica de Catalunya.

SHAHREZAEI, F., MANSOURI, Y., ZINATIZADEH, A. A. L. & AKHBARI, A. 2012. Process modeling and kinetic evaluation of petroleum refinery wastewater treatment in a photocatalytic reactor using TiO2 nanoparticles. Powder Technology, 221, 203-212.

TORRES ORELLANO, K. J. & GUTIÉRREZ RODRIGUEZ, M. L. 2017. Estado del arte de las tecnologías más utilizadas en las refinerías de América para el tratamiento de aguas residuales.

VALDIVIA, C. B., CRESPO, M. B. & SILVA, R. R. 2010. La biorremediación, solución a los suelos petrolizados en la Refinería Sergio Soto. InfoCiencia, 14, 1-12.

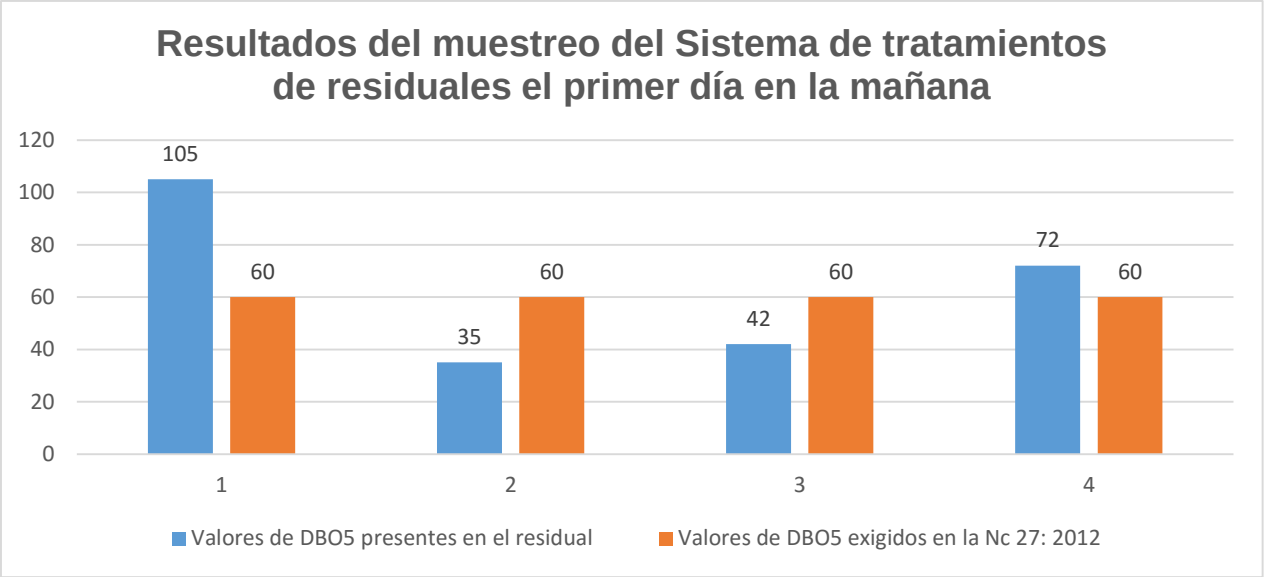
VILLAMARIN VILLENA, J. A. & VILLAMARIN VILLENA, K. X. 2017. Degradación de fenoles presentes en las descargas de aguas residuales de la Refineria de Shushufindi mediante fotodegradación utilizando óxido de titanio (IV) adherido electroquímicamente para su descontaminación, 2016. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

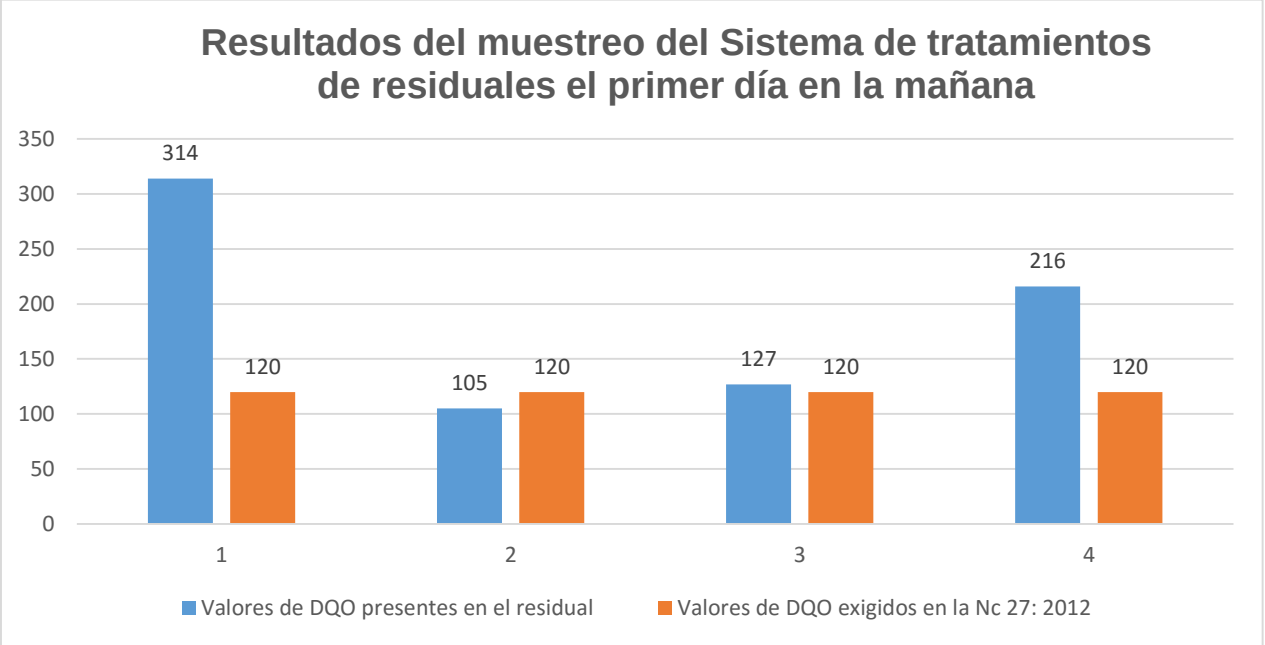
WAKE, H. 2005. Oil refineries: a review of their ecological impacts on the aquatic environment. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 62, 131-140.

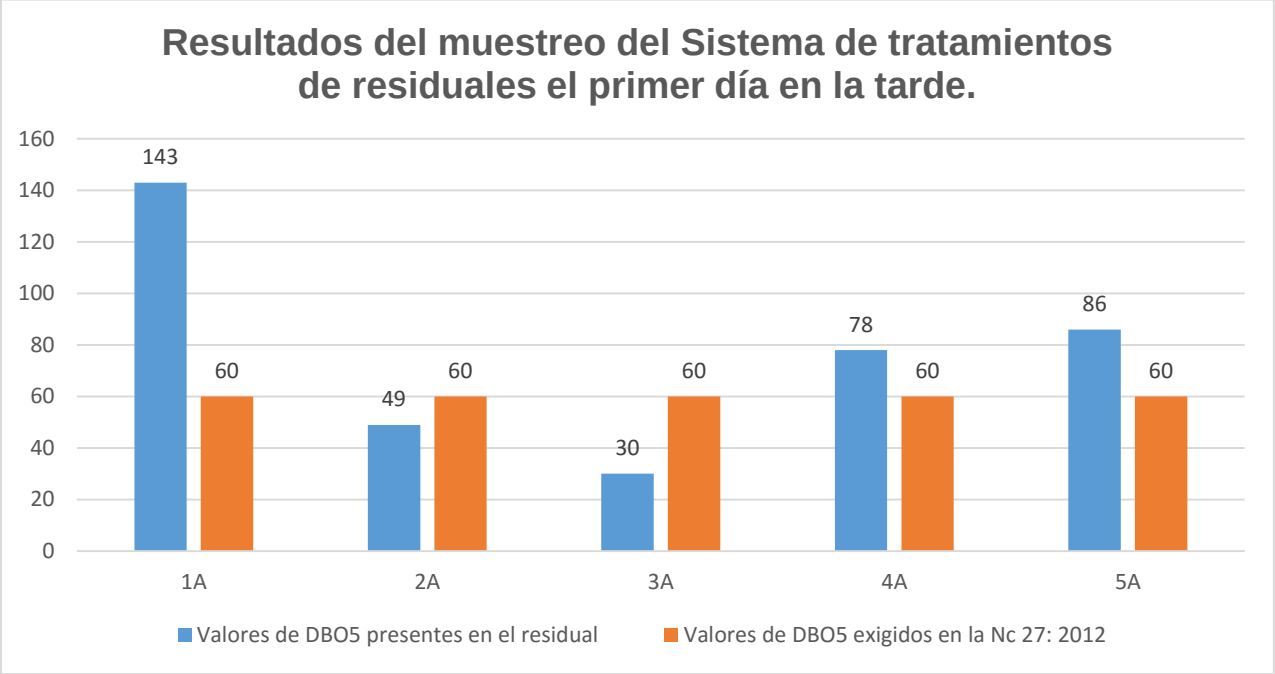
WARD, O., SINGH, A. & VAN HAMME, J. 2003. Accelerated biodegradation of petroleum hydrocarbon waste. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 30, 260-270.

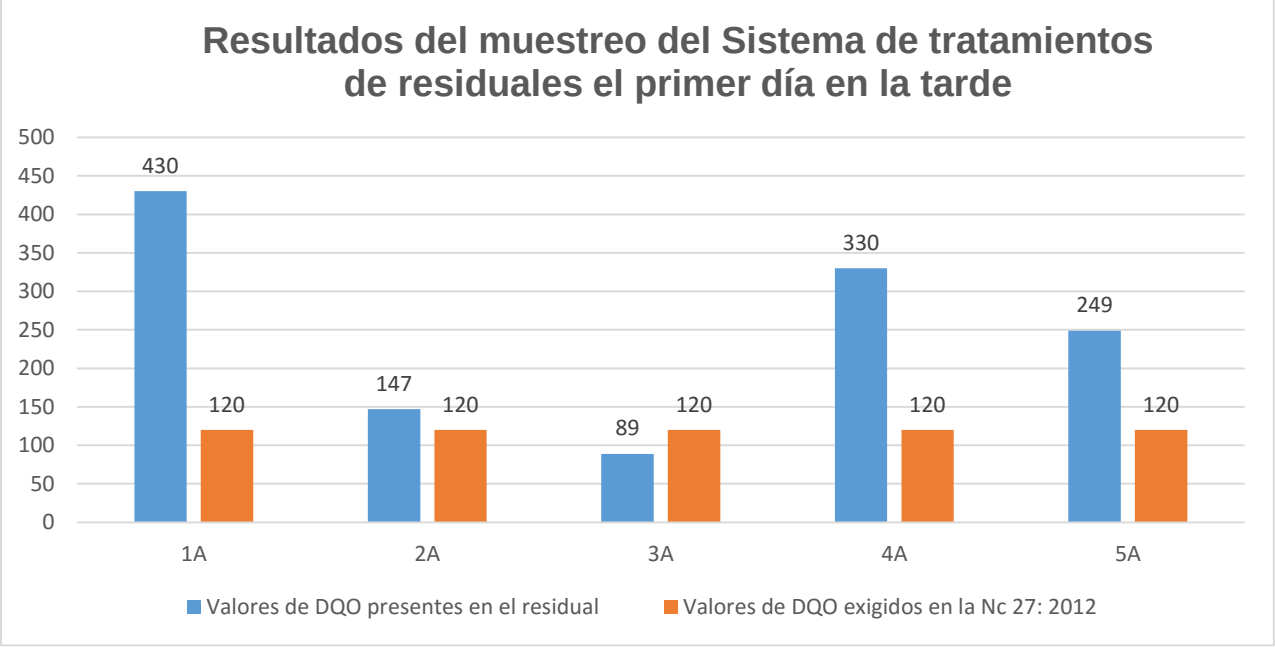
Anexos

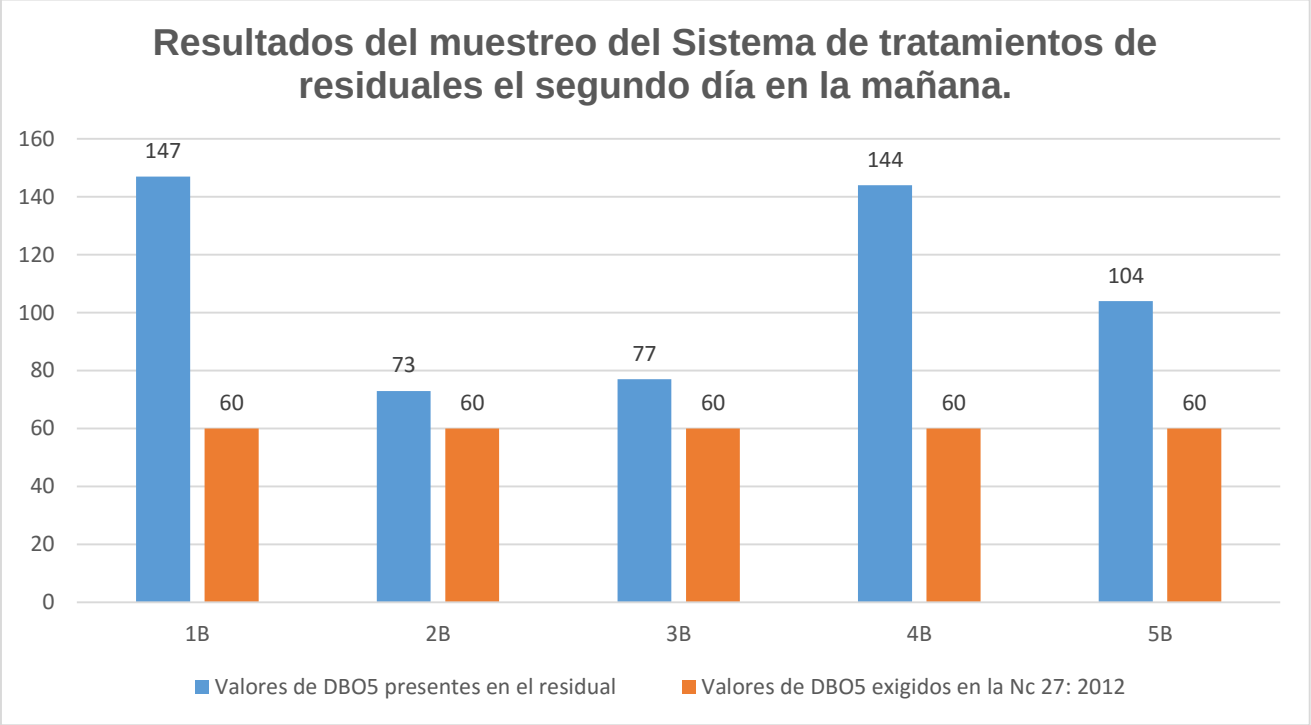
Anexo No 1. Comparación del muestreo del sistema de tratamientos de residuales en la refinería “Sergio Soto” de Cabaiguán.

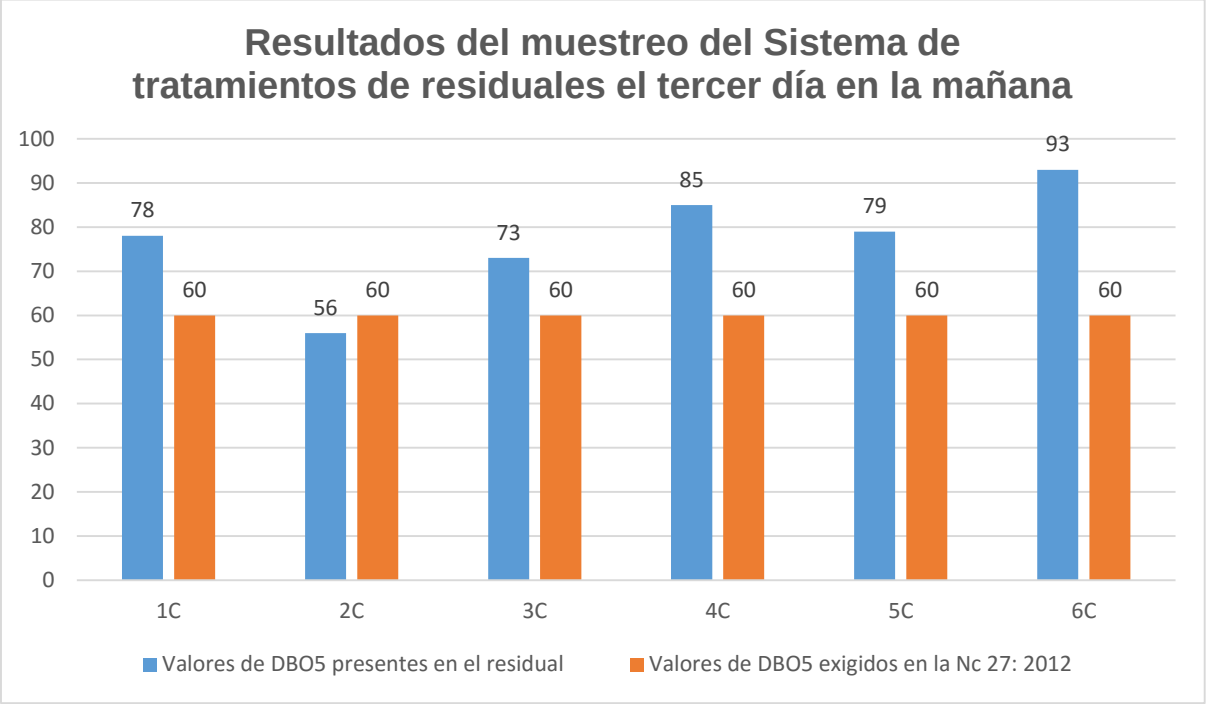


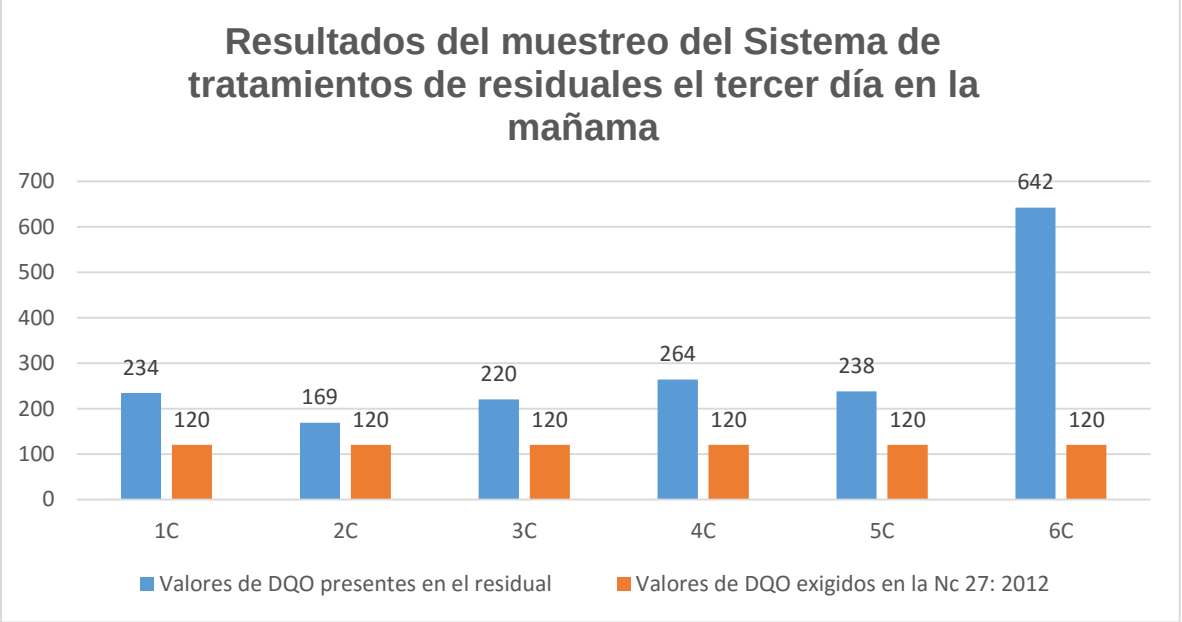


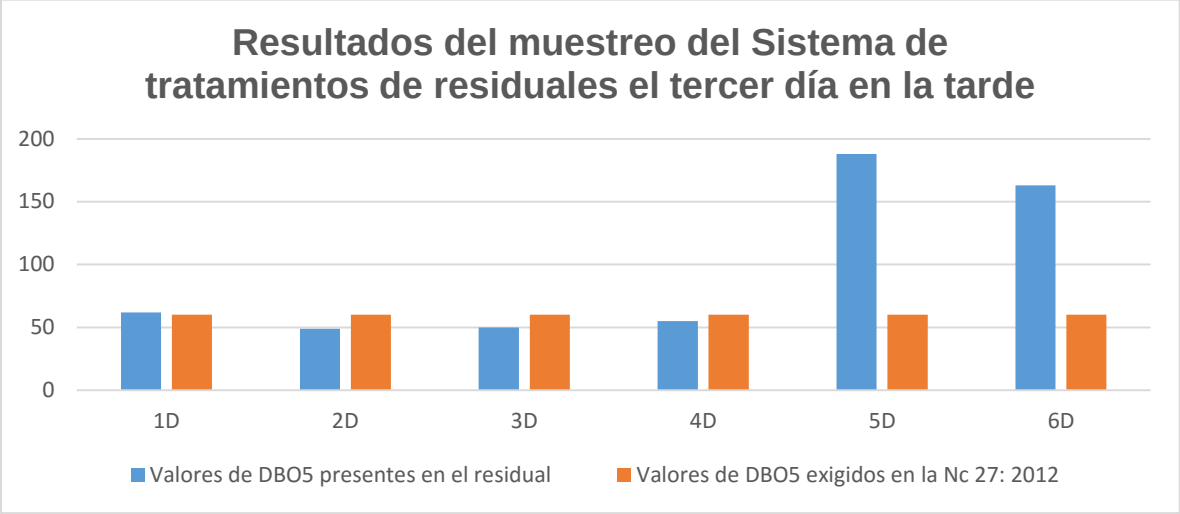

Resultados del muestreo del Sistema de tratamientos de residuales el primer día en la tarde.
160
140
120
100
80
60
40
20
0
143
60
49
60
30
60
78
60
86
60
1A
2A
3A
4A
5A
Valores de DBO5 presentes en el residual
Valores de DBO5 exigidos en la Nc 27: 2012

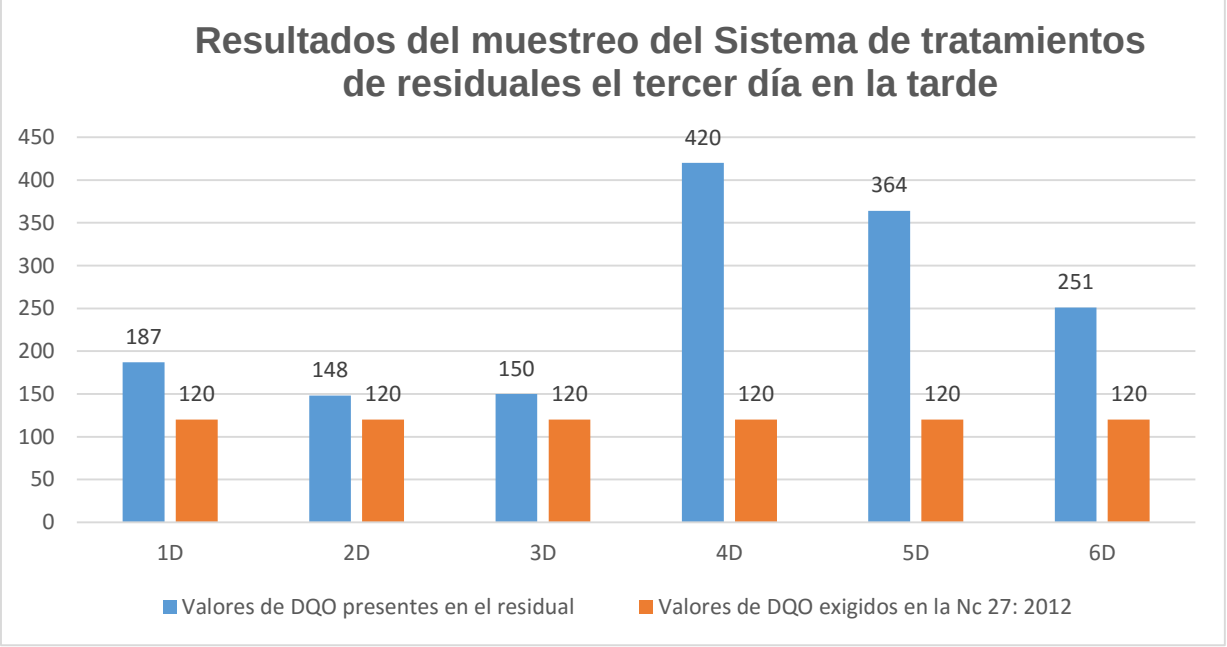

Resultados del muestreo del Sistema de tratamientos de residuales el primer día en la tarde
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
430
120
147
120
89
120
330
120
249
120
1A
2A
3A
4A
5A
Valores de DQO presentes en el residual
Valores de DQO exigidos en la Nc 27: 2012


Resultados del muestreo del Sistema de tratamientos de residuales el segundo día en la mañana.
160
140
120
100
80
60
40
20
0
147
60
73
60
77
60
144
60
104
60
1B
2B
3B
4B
5B
Valores de DBO5 presentes en el residual
Valores de DBO5 exigidos en la Nc 27: 2012


Resultados del muestreo del Sistema de tratamientos de residuales el tercer día en la mañana
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
78
60
56
60
73
60
85
60
79
60
93
60
1C
2C
3C
4C
5C
6C
Valores de DBO5 presentes en el residual
Valores de DBO5 exigidos en la Nc 27: 2012


Resultados del muestreo del Sistema de tratamientos de residuales el tercer día en la mañama
700
600
500
400
300
200
100
0
234
120
169
120
220
120
264
120
238
120
642
120
1C
2C
3C
4C
5C
6C
Valores de DQO presentes en el residual
Valores de DQO exigidos en la Nc 27: 2012


Resultados del muestreo del Sistema de tratamientos de residuales el tercer día en la tarde
200
150
100
50
0
1D
2D
3D
4D
5D
6D
Valores de DBO5 presentes en el residual
Valores de DBO5 exigidos en la Nc 27: 2012


Resultados del muestreo del Sistema de tratamientos de residuales el tercer día en la tarde
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
187
120
148
120
150
120
420
120
364
120
251
120
1D
2D
3D
4D
5D
6D
Valores de DQO presentes en el residual
Valores de DQO exigidos en la Nc 27: 2012