

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Química y Farmacia
Departamento de Ingeniería Química



Trabajo de Diploma

“Propuesta de tratamiento para los residuales líquidos generados en la planta de aceites básicos de la Refinería Sergio Soto Alba”

Autor: Eduardo Enrique González Águila

Tutores: Dra. Petra G. Velazco Pedroso

Dr. Guillermo Esperanza Pérez

Consultante: Ing. Yenisleys Duarte Álvarez

2011 - 2012

Año 54 de la Revolución”.

Pensamiento

El éxito no se logra sólo con cualidades especiales. Es sobre todo un trabajo de constancia, de método y de organización.

J.P. Sergent.

Dedicatoria

*Especialmente a cada persona que me dio su apoyo y
confianza*

*A mis padres y hermanos
... que con cariño y esmero han logrado hacer de mi, quien soy
hoy*

A mi tutora, gracias por la ayuda

*A mis compañeros del grupo...
...sin ustedes no hubiera podido cumplir este propósito*

A mis profesores de la universidad...

A todos aquellos que han contribuido conmigo...

*Pero en especial a mis abuelos que cada día de estos cinco años
estuvieron pendientes de mí.*

Muchas gracias

Agradecimientos

*Agradezco a mis tutores por haberme ayudado y aguantado
todos estos días...*

A mis hermanos por cada día que me recibieron con un beso

*A mis padres por guiarme, por ser tan pacientes conmigo y
ayudarme a ser la persona que soy...*

*A todos mis profesores, en especial a Nancy López Bello
que más que mi profe fue una madre...*

A mis amigos, que no los menciono porque son muchos...

Gracias a todos los que hicieron posible que yo hoy esté aquí.

Resumen.

En este trabajo se plantea el estudio del residual generado en la planta de aceites básicos de la Refinería de Cabaiguán y el diseño tecnológico de un sistema para el tratamiento de estas aguas oleosas. Estas deben de ser tratadas de una forma eficiente y segura para evitar posibles daños a las personas y medio ambiente en general ya que presentan una alta carga orgánica, además de tener trazas de aceite.

Si se tiene en cuenta el grado de contaminación de estas aguas se decide tratar la misma a partir de un tratamiento químico y posteriormente físico el cual consiste en un tanque mezclador donde se le adiciona alúmina y un desaceitador. Se procede al diseño de los mismos teniendo en cuenta la carga orgánica y las normas establecidas de vertimiento.

Finalmente se hace una valoración técnico-económica del sistema de tratamiento del residual, a partir de un estimado de los costos de inversión del proceso y aunque no existan ingresos económicos directos se obtendrán con la implementación de esta tecnología una disminución de los daños ambientales.

Summary

She it in this work think about the study of the residual generated in the plant of basic oil of the Refinery of Cabaiguán and the technological design of a system for the treatment of these oleaginous waters. These should be been an efficient and sure form in order to avoid possible damages to the people and environment in general since they present a discharge organic load besides having plans of oil.

If the degree of contamination of these waters is kept in mind is decided to try the same starting from a chemical treatment and later on physique which consists of a tank mixer where you addiction alumina and a [sedimentador]. She it is preceded to the design of the same keeping in mind the organic load and the norms established from dumping.

Finally is made a technician-economic valuation of the system of treatment of the residual, starting from an esteemed of the costs of investment of the process and although economic direct revenue doesn't exist will be obtained a decrease of the environmental damages with the implementation of this technology.

Tabla de contenidos

Contenido	Página
<i>Introducción</i>	1
<i>Capítulo I: Revisión Bibliográfica.</i>	3
1.1 Histología del Petróleo.	3
1.2 Reseña histórica de la Refinería Sergio Soto de Cabaiguán.	3
1.3 Aguas Residuales.	5
1.4 Depuración de aguas residuales	8
1.5 Proceso de Separación de las Aguas	13
1.6 Separadores de Hidrocarburos:	16
<i>Capítulo II: Fundamentos tecnológicos.</i>	20
2.1 Descripción del Proceso Tecnológico.	20
2.2 Caracterización del residual líquido.	21
2.3 Pre-tratamiento del residual líquido.	22
2.4 Propuesta de tratamiento para el residual líquido.	24
2.5 Breve descripción del proceso de tratamiento por etapas. Balances de materiales.	25
2.5.1. Balance de masa para el tanque de pre-tratamiento inicial.	25
2.5.2. Balance de masa en el desaceitador.	26
2.5.3. Balance de masa en el tanque de neutralización 2.	27
2.5.4 Balance de masa en la membrana	27
2.6 Aprovechamiento y recirculación de los residuales en la planta de tratamiento prevista.	27
<i>Conclusiones parciales</i>	29

Capítulo III: Diseño y análisis económico.	30
3.1 Diseño del tanque de neutralización 1.	30
3.2 Diseño del desaceitador.	30
3.3 Diseño del tanque neutralizador 2.	32
3.4 Diseño del sistema de tubería y bombeo.	32
3.4.1 Bombas	33
3.5 Costo de equipamiento e inversión:	34
3.6 Determinación del costo de adquisición del equipamiento:	35
3.7 Estimando costo total de producción	38
3.8 Externalidades.	39
3.9 Métodos empleados para valorar las externalidades.	40
3.10 Cálculo de los indicadores económicos de rentabilidad VAN, TIR, PRD	41
Conclusiones parciales	42
Conclusiones	43
Recomendaciones	44
Referencias bibliográficas	45

Introducción:

En la Refinería de Petróleo “Sergio Soto” de la UNION CUPET situada en el municipio de Cabaiguán, provincia de Sancti Spiritus se encuentra ubicada la Planta de Aceites Básicos. La refinería, tiene como misión productiva la refinación del crudo nacional, que se extrae de la cuenca central (Jatibonico, Cristales y Pina) así como, la producción de aceites sigatoca, I-12 (como bases para insecticidas en uso de la agricultura) y aceite para transformadores eléctricos además de la distribución mayorista y minoristas de los combustibles, lubricantes y el Gases Licuados del Petróleo, lo que la diferencia del resto del país.

La producción de aceites básicos única de su tipo en el país, constituye un elemento importante en la sustitución de importaciones en Cuba.

En la planta de aceites básicos se utiliza, como materia prima el corte lateral DR-3 del crudo procedente de Pina de Majagua se realizan una serie de proceso de sulfatación, neutralización y lavado lo que además, de consumir grandes volúmenes de agua, trae consigo la generación de un residual que puede sobrepasar la cifra de 611 m³/año. Este residual se caracteriza por un color oscuro muy intenso y por un fuerte olor a hidrocarburo además de aceites y grasas. Anteriormente el mismo era usado en la reactivación de los pozos de petróleo en la zona de Managua, esta variante de disposición, fue limitada y actualmente el funcionamiento de la planta se está viendo limitada por la acumulación de dicho residual de carácter tóxico y peligroso el cual, provoca serios efectos negativos para la salud del hombre y el medio ambiente ya que no se dispone de un sistema de tratamiento, ni disposición final adecuado, para el mismo constituyendo éste, el problema científico del trabajo.

Hipótesis: Si se dispone de una tecnología de tratamiento viable desde el punto de vista técnico, económico y ambiental de las aguas residuales que se producen en la Planta de aceites básicos de la Refinería Pedro Soto Alba se podrá minimizar o eliminar el efecto negativo que las mismas producen al hombre y al medio ambiente.

Objetivo General: Proponer y diseñar un sistema de tratamiento para la remoción de las sustancias contaminantes presentes en las aguas residuales oleosas de la planta de aceites básicos.

Objetivos Específicos:

1. Proponer una tecnología de tratamiento para las aguas residuales contaminadas.
2. Seleccionar y/o diseñar, sobre la base de una propuesta de sistema de tratamiento, el equipamiento fundamental del proceso.
3. Valorar desde el punto de vista económico el costo de la inversión.

1.1 Histología del Petróleo.

En mayo de 1938 se aprueba la Ley de Minerales Combustibles (aún en vigor) y su reglamento data del 16 de Octubre de 1939. En 1954, con el descubrimiento del yacimiento Jatibonico se produce “la fiebre del petróleo” y numerosas compañías vienen al país en busca del oro negro durante el período 1954 – 1957. Con el objetivo de estimular a las compañías a partir de la disminución de los costos, la Comisión de Fomento Nacional compró cinco equipos de perforación que alquilaba a las compañías a un buen precio. De ellos uno era una perforadora NATIONAL 75 de 3000 m y las otras alcanzaban hasta 1000m de marca FAILING. En abril de 1959 la Comisión de Fomento Nacional decretó la intervención del yacimiento “Dos Estrellas” (Jatibonico) y de la Refinería de Cabaiguán.

En 1985 por la Resolución 1106 del 23 de Agosto del Ministerio de la Industria Básica se crea la Unión del Combustible, con el objetivo de atender la Refinación, Comercialización, así como la construcción y atención de Oleoductos y Tanques. Mediante la Resolución 659 del 19 de marzo de 1992 de la Comisión Nacional del Sistema de Dirección de la Economía, se autorizó la fusión de la Unión del Petróleo con la Unión del Combustible con el nombre de CUBAPETROLEO y abreviatura CUPET, dictándose por el Ministro de Industria Básica la resolución no. 023 de fecha 25 de marzo del mismo año la cual crea la Unión CUBAPETROLEO (CUPET). **(Marrero, 1989)**

1.2 Reseña histórica de la Refinería Sergio Soto de Cabaiguán.

La refinería “Sergio Soto” de Cabaiguán tiene como misión productiva la refinación del crudo nacional, que se extrae de la cuenca central (Jatibonico, Cristales y Pina) así como la producción de aceites básicos a partir de estos crudos, además la distribución mayorista y minoristas de los combustibles, lubricantes y el G.L.P lo que la diferencia del resto del país.

Esta refinería surgió en el año 1947 utilizando solamente crudo extraído de Jarahueca con una producción de 400 barriles/día. Al triunfo de la Revolución empezó a refinar el crudo traído de Colombia y en 1960 empieza a recibir crudo soviético, aumentando y mejorando su calidad de 60 a 800 toneladas/día.

Actualmente la refinería produce nafta, queroseno, fuel oil y diesel, 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, herbicidas, aceite I-12, aceite sigatoca, aceite para transformadores, aceite térmico, además de la obtención de asfalto y otros cortes laterales más ligeros a partir del fuel oil siendo esto

Capítulo I “Revisión Bibliográfica”

de gran importancia económica. La nafta se usa para el limpiado de piezas, motores, etc. El queroseno se utiliza como combustible doméstico. El diesel es ampliamente utilizado como combustible en el transporte pesado en maquinarias agrícolas y en algunas calderas de vapor. El fuel-oil es usado en la combustión de hornos y calderas.

Del petróleo se producen todos los tipos posibles de combustibles líquidos (gasolina, queroseno, combustible para motores diesel, turbinas de gas y calderas), aceites lubricantes y especiales, lubricantes plásticos, parafina, carbono técnico, betunes de petróleo y otros productos comerciales. (Erij, 1988)

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. La separación de los gases se efectúa en los aparatos separadores especiales en los cuales se hace descender la presión y la velocidad de movimiento del petróleo, lo que se acompaña de la desorción de los gases de entubación. Las sales minerales se eliminan durante la desaladura la cual consiste en lavar varias veces el petróleo con agua tibia. Las emulsiones formadas durante el lavado, se separan del petróleo al someterlo a un proceso de deshidratación. (Mujlionov, 1980)

Se dice que hay impacto ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes del medio (González, 2007). El término de impacto indica la alteración que la ejecución de un proyecto introduce en el medio, expresada por la diferencia entre la evaluación de este sin y con proyecto.

El proceso intensivo de la industria petroquímica está demandando cambios en la gestión medioambiental, para proteger el agua, el suelo y la atmósfera de contaminantes procedentes de las refinerías, por lo que se hace necesario buscar diferentes tipos de tecnologías y procesos para el agua residual y el procesado del agua de las industrias de refinerías. Refinerías de petróleo usan relativamente grandes volúmenes de agua, especialmente en procesos de refrigeración. De hecho, las aguas residuales de la industria petroquímica contienen generalmente productos químicos peligrosos, como los hidrocarburos, el fenol, amoníaco, entre otros.

El Agua

El 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a gasto doméstico, según se constata en el primer informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, *Agua para todos, agua para la vida* (marzo 2003). En 2025, el consumo de agua destinada a uso industrial alcanzará los 1.170 km³ / año, cifra que en 1995 se situaba en 752 km³ / año. El sector productor no sólo es el que más gasta,

también es el que más contamina. Más de un 80% de los desechos peligrosos del mundo se producen en los países industrializados, mientras que en las naciones en vías de desarrollo un 70% de los residuos que se generan en las fábricas se vierten al agua sin ningún tipo de tratamiento previo, contaminando así los recursos hídricos disponibles.

Definición de las aguas residuales

- Aguas residuales domésticas: Aquellas procedentes de zonas de vivienda y de servicios generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.
- Aguas residuales industriales: 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.
- Aguas urbanas: Las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial. Todas ellas habitualmente se recogen en un sistema colector y son enviadas mediante un emisario terrestre a una planta EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales). Las industrias que realicen el vertido de sus aguas residuales en esta red colectora, habrán de acondicionar previamente sus aguas.

Los compuestos orgánicos e inorgánicos se encuentran en aguas residuales procedentes de instalaciones industriales diversas. A diferencia de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo.

1.3 Aguas Residuales.

Una disposición inadecuada de las aguas residuales, puede resultar una contaminación de las aguas superficiales, las aguas subterráneas y los suelos, esto trae consigo afectaciones de forma directa o indirectamente a casi todo ser vivo, por lo que una buena recuperación de las aguas residuales, nos permite tanto como un aumento de la calidad de vida como un aumento de la productividad si le damos valor agregado a la misma.

El impacto de los vertidos industriales depende no sólo de sus características comunes, como la demanda bioquímica de oxígeno, sino también de su contenido en sustancias orgánicas e inorgánicas específicas. Hay tres opciones para controlar los vertidos industriales; el control puede tener lugar allí donde se generan dentro de la planta; las aguas pueden tratarse previamente y

Capítulo I “Revisión Bibliográfica”

descargarse en el sistema de depuración urbana; o pueden depurarse por completo en la planta y ser reutilizadas o vertidas sin más en corrientes o masas de agua.

Las aguas generadas por la plantas de petróleo, uso doméstico o industrial se le denominan aguas negras o aguas cloacales. Estas son residuales pues, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen. Estas presentan materias orgánicas e inorgánicas, nutrientes, aceites y grasas, sustancias tóxicas, y microorganismos patógenos. Los desechos humanos sin un tratamiento apropiado presentan un peligro de infección parasitaria (mediante el contacto directo con la materia fecal), hepatitis y varias enfermedades gastrointestinales, incluyendo el cólera y la tifoidea (mediante la contaminación de la fuente de agua y la comida). Vale mencionar que el agua de lluvia urbana puede contener los mismos contaminantes, a veces en concentraciones elevadamente altas.

Cuando las aguas servidas son recolectadas pero no tratadas correctamente antes de su eliminación o reutilización, existen los mismos peligros para la salud pública en las proximidades del punto de descarga. Si dicha descarga es en aguas receptoras, se presentarán peligrosos efectos adicionales, por ejemplo: el hábitat acuático y marino es afectado por la acumulación de los sólidos; el oxígeno disminuye por la descomposición de la materia orgánica; y los organismos acuáticos y marinos pueden ser perjudicados aún más por las sustancias tóxicas, que pueden extenderse hasta los organismos superiores por la bio-acumulación en las cadenas alimenticias. Si la descarga entra en aguas confinadas, como un lago o una bahía, su contenido de nutrientes puede ocasionar la eutrofización, con molesta vegetación que puede afectar a las pesquerías y áreas recreativas. Los desechos sólidos generados en el tratamiento de las aguas residuales (grava, cerniduras, fangos primarios y secundarios) pueden contaminar el suelo y las aguas si no son manejados correctamente.

Los proyectos de aguas servidas son ejecutados a fin de evitar o aliviar los efectos de los contaminantes descritos anteriormente en cuanto al ambiente humano y natural. Cuando son ejecutados correctamente, su impacto total sobre el ambiente es positivo.

Los impactos directos incluyen la disminución de molestias y peligros para la salud pública en el área de servicio, mejoramientos en la calidad de las aguas receptoras, y aumentos en los usos beneficiosos de las mismas. Además, la instalación de un sistema de recolección y tratamiento de las aguas residuales posibilita un control más efectivo mediante su tratamiento previo y conexión con el alcantarillado público, y ofrece el potencial para la reutilización beneficiosa del efluente tratado y de los fangos.

Capítulo I “Revisión Bibliográfica”

Los impactos indirectos del tratamiento de las aguas residuales incluyen la provisión de sitios de servicio para el desarrollo, mayor productividad y rentas de las pesquerías, turísticas y recreativas, además de una elevada productividad agrícola y forestal o menores requerimientos para los fertilizantes químicos, en caso de ser reutilizado el efluente y los fangos lo cual implica menores demandas sobre otras fuentes de agua como resultado de la reutilización del efluente.

Varios potenciales de impactos positivos se prestan para la medición, por lo que pueden ser incorporados cuantitativamente en el análisis de los costos y beneficios de varias alternativas al planificar proyectos para las aguas servidas. Los beneficios para la salud humana pueden ser medidos, por ejemplo, mediante el cálculo de los costos evitados, en forma de los gastos médicos y días de trabajo perdidos que resultarían de un saneamiento defectuoso. Los menores costos del tratamiento de agua potable e industrial y mayores rentas de la pesca, el turismo y la recreación, pueden servir como mediciones parciales de los beneficios obtenidos del mejoramiento de la calidad de las aguas receptoras. En una región donde es grande la demanda de viviendas, los beneficios provenientes de proporcionar lotes con servicios pueden ser reflejados en parte por la diferencia en costos entre la instalación de la infraestructura por adelantado o la adecuación posterior de comunidades no planificadas.

A menos que sean correctamente planificados, ubicados, diseñados, construidos, operados y mantenidos, es probable que los proyectos de aguas servidas tengan un impacto total negativo y no produzcan todos los beneficios para los cuales se hizo la inversión, afectando además en forma negativa a otros aspectos del medio ambiente.

La composición de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), la demanda química de oxígeno (DQO), y el pH.

Los residuos sólidos comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos disueltos son productos capaces de atravesar un papel de filtro, y los suspendidos los que no pueden hacerlo. Los sólidos en suspensión se dividen a su vez en depositables y no depositables, dependiendo del número de miligramos de sólido que se depositan a partir de 1 litro de agua residual en una hora. Todos estos sólidos pueden dividirse en volátiles y fijos, siendo los volátiles, por lo general, productos orgánicos y los fijos materia inorgánica o mineral.

La concentración de materia orgánica se mide con los análisis DBO_5 y DQO. La DBO_5 es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un periodo de cinco días para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20 °C. De modo similar, el DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de

Capítulo I “Revisión Bibliográfica”

dicromato en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO_5 porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. La DBO_5 suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables, sin tratar y tratadas. La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos. El pH mide la acidez de una muestra de aguas residuales. Los valores típicos para los residuos sólidos presentes en el agua y la DBO_5 del agua residual doméstica aparecen en la tabla adjunta. El contenido típico en materia orgánica de estas aguas es un 50% de carbohidratos, un 40% de proteínas y un 10% de grasas; el pH puede variar de 6,5 a 8,0.

No es fácil caracterizar la composición de los residuos industriales con arreglo a un rango típico de valores dado según el proceso de fabricación. La concentración de un residuo industrial se pone de manifiesto enunciando el número de personas, o equivalente de población (EP), necesario para producir la misma cantidad de residuos. Este valor acostumbra a expresarse en términos de DBO_5 . Para la determinación del EP se emplea un valor medio de 0,077 kg 5-días, 20 °C DBO_5 por persona y día. El equivalente de población de un matadero, por ejemplo, oscilará entre 5 y 25 PE por animal. La composición de las infiltraciones depende de la naturaleza de las aguas subterráneas que penetran en la canalización. El agua de lluvia residual contiene concentraciones significativas de bacterias, elementos traza, petróleo y productos químicos orgánicos. (Wikipedia, 2009)

1.4 Depuración de aguas residuales

Los procesos empleados para el tratamiento de las aguas residuales, pueden ser físicos, químico o biológico, eso depende de las características del agua residual.

Tratamiento físico

Las aguas residuales que entran en una depuradora contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Estos materiales se eliminan por medio de enrejados o barras verticales, y se queman o se entierran tras ser recogidos manual o mecánicamente. El agua residual pasa a continuación a través de una trituradora, donde las hojas y otros materiales orgánicos son triturados para facilitar su posterior procesamiento y eliminación.

Precipitación: Consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación por cualquiera de los métodos descritos en la eliminación de la materia en suspensión.

Capítulo I “Revisión Bibliográfica”

Algunos autores incluyen en este apartado la coagulación-floculación. Sin embargo, el término precipitación se utiliza más para describir procesos como la formación de sales insolubles, o la transformación química de un ión en otro con mayor o menor estado de oxidación que provoque la formación de un compuesto insoluble.

Un reactivo de muy frecuente uso en este tipo de operaciones es el Ca^{2+} , dada la gran cantidad de sales insolubles que forma, por ejemplo es el método utilizado para la eliminación de fosfatos (nutriente). Además posee cierta capacidad coagulante, lo que hace su uso masivo en aguas residuales urbanas y muchas industriales de características parecidas.

Cámara de arena: En el pasado, se usaban tanques de deposición, largos y estrechos, en forma de canales, para eliminar materia inorgánica o mineral como arena, sedimentos y grava. Estas cámaras estaban diseñadas de modo que permitieran que las partículas inorgánicas de 0,2 mm o más se depositaran en el fondo, mientras que las partículas más pequeñas y la mayoría de los sólidos orgánicos que permanecen en suspensión continuaban su recorrido. Hoy en día las más usadas son las cámaras aireadas de flujo en espiral con fondo en tolva, o clarificadores, provistos de brazos mecánicos encargados de raspar. Se elimina el residuo mineral y se vierte en vertederos sanitarios. La acumulación de estos residuos puede ir de los 0,08 a los 0,23 m³ por cada 3,8 millones de litros de aguas residuales.

Sedimentación: Una vez eliminada la fracción mineral sólida, el agua pasa a un depósito de sedimentación donde se depositan los materiales orgánicos, que son retirados para su eliminación. El proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO₅ y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión.

La tasa de sedimentación se incrementa en algunas plantas de tratamiento industrial incorporando procesos llamados coagulación y floculación químicas al tanque de sedimentación. La coagulación es un proceso que consiste en añadir productos químicos como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico o polielectrolitos a las aguas residuales; esto altera las características superficiales de los sólidos en suspensión de modo que se adhieren los unos a los otros y precipitan. La floculación provoca la aglutinación de los sólidos en suspensión. Ambos procesos eliminan más del 80% de los sólidos en suspensión.

Flotación: Una alternativa a la sedimentación, utilizada en el tratamiento de algunas aguas residuales, es la flotación, en la que se fuerza la entrada de aire en las mismas, a presiones de entre 1,75 y 3,5 kg por cm². El agua residual, supersaturada de aire, se descarga a continuación en un depósito abierto. En él, la ascensión de las burbujas de aire hace que los sólidos en suspensión

Capítulo I “Revisión Bibliográfica”

suban a la superficie, de donde son retirados. La flotación puede eliminar más de un 75% de los sólidos en suspensión.

Digestión: La digestión es un proceso microbiológico que convierte el cieno, orgánicamente complejo, en metano, dióxido de carbono y un material inofensivo similar al humus. Las reacciones se producen en un tanque cerrado o *digestor*, y son anaerobias, esto es, se producen en ausencia de oxígeno. La conversión se produce mediante una serie de reacciones. En primer lugar, la materia sólida se hace soluble por la acción de enzimas. La sustancia resultante fermenta por la acción de un grupo de bacterias productoras de ácidos, que la reducen a ácidos orgánicos sencillos, como el ácido acético. Entonces los ácidos orgánicos son convertidos en metano y dióxido de carbono por bacterias. Se añade cieno espesado y calentado al digestor tan frecuentemente como sea posible, donde permanece entre 10 y 30 días hasta que se descompone. La digestión reduce el contenido en materia orgánica entre un 45 y un 60 por ciento.

Dsecación: El cieno digerido se extiende sobre lechos de arena para que se seque al aire. La absorción por la arena y la evaporación son los principales procesos responsables de la dsecación. El secado al aire requiere un clima seco y relativamente cálido para que su eficacia sea óptima, y algunas depuradoras tienen una estructura tipo invernadero para proteger los lechos de arena. El cieno dsecado se usa sobre todo como acondicionador del suelo; en ocasiones se usa como fertilizante, debido a que contiene un 2% de nitrógeno y un 1% de fósforo.

Tratamiento biológico: Constituyen una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre esos componentes. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P). Es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales. En la mayor parte de los casos, la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. Además, también es necesaria la presencia de nutrientes, que contengan los elementos esenciales para el crecimiento, especialmente los compuestos que contengan N y P, y por último, en el caso de sistema aerobio, la presencia de oxígeno disuelto en el agua. Este ultimo aspecto será clave a la hora de elegir el proceso biológico más conveniente. En el metabolismo bacteriano juega un papel fundamental el elemento aceptor de electrones en los procesos de oxidación de la materia orgánica. Este aspecto, además, tiene una importante incidencia

Capítulo I “Revisión Bibliográfica”

en las posibilidades de aplicación al tratamiento de aguas. Atendiendo a cual es dicho aceptor de electrones distinguimos tres casos:

Sistemas aerobios: La presencia de O_2 hace que este elemento sea el aceptor de electrones, por lo que se obtienen unos rendimientos energéticos elevados, provocando un importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las bacterias aerobias. Su aplicación a aguas residuales puede estar muy condicionada por la baja solubilidad del oxígeno en el agua.

Sistemas anaerobios: En este caso el aceptor de electrones puede ser el CO_2 o parte de la propia materia orgánica, obteniéndose como producto de esta reducción el carbono en su estado mas reducido, CH_4 . La utilización de este sistema, tendría, como ya se explicará, como ventaja importante, la obtención de un gas combustible.

Sistemas anóxicos: Se denominan así los sistemas en los que la ausencia de O_2 y la presencia de nitratos, hacen que este último elemento sea el aceptor de electrones, transformándose, entre otros, en N_2 , elemento completamente inerte. Por tanto es posible, en ciertas condiciones, conseguir una eliminación biológica de nitrates (desnitrificación).

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, existe una gran variedad de formas de operar, dependiendo de las características del agua, así como de la carga orgánica a tratar.

Tratamiento químico

Procesos Electroquímicos: Está basado en la utilización de técnicas electroquímicas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua (que necesariamente ha de contener un electrolito) y provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo. Por tanto se utiliza energía eléctrica como vector de descontaminación ambiental, siendo su coste uno de las principales desventajas de este proceso. Sin embargo como ventajas cabe destacar la versatilidad de los equipos, la ausencia tanto de la utilización de reactivos como de la presencia de fangos y la selectividad, pues controlar el potencial de electrodo permite seleccionar la reacción electroquímica dominante deseada.

Las consecuencias de las reacciones que se producen pueden ser indirectas, como en el caso de la electrocoagulación, electro flotación o electro floculación, donde los productos formados por electrolisis sustituyen a los reactivos químicos, y supone una alternativa con futuro a la clásica adición de reactivos.

Sin embargo, la aplicación que está tomando un auge importante es en el tratamiento de aguas residuales industriales, a través de una oxidación ó reducción directa.

Capítulo I “Revisión Bibliográfica”

- **Oxidación en ánodo:** En el ánodo se puede producir la oxidación de los compuestos a eliminar, tanto orgánicos como inorgánicos. Esta oxidación se puede producir directamente por una transferencia de electrones en la superficie del ánodo o bien por la generación de un agente oxidante *in-situ*. En este último caso se evita manipular agentes oxidantes. Entre las aplicaciones de la oxidación directa cabe destacar el tratamiento de cianuros, colorantes, compuestos orgánicos tóxicos (en algunas ocasiones haciéndolos más biodegradables), incluso la oxidación de Cr(III) a Cr(VI), más tóxico pero que de esta forma puede ser reutilizado. En rango de concentraciones con posibilidades de utilizar este tipo de tratamiento también es muy amplio.

- **Reducción en cátodo:** La principal aplicación de esta posibilidad es la reducción de metales tóxicos. Se ha utilizado en situaciones, no poco frecuentes, de reducción de metales catiónicos desde varios miles de ppm de concentración hasta valores incluso por debajo de la ppm. Hay una primera etapa de deposición del metal sobre la superficie del cátodo que ha de continuarse con la remoción del mismo. Esto se puede hacer por raspado, disolución en otra fase, etc.

El reactor electroquímico utilizado suele ser de tipo filtro-prensa, semejante a las pilas de combustible. Este sistema permite un crecimiento modular del área. Básicamente cada módulo se compone de un elemento catódico de bajo sobrevoltaje a hidrógeno (Pt, Au, Acero Inoxidable, Ni,..) y un elemento anódico que utiliza como base óxidos de metales nobles.

Intercambio Iónico: Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante.

La aplicación habitual de estos sistemas, es por ejemplo, la eliminación de sales cuando se encuentran en bajas concentraciones, siendo típica la aplicación para la desmineralización y el ablandamiento de aguas, así como la retención de ciertos productos químicos y la desmineralización de jarabes de azúcar. Las propiedades que rigen el proceso de intercambio iónico y que a la vez determinan sus características principales son las siguientes:

Las resinas actúan selectivamente, de forma que pueden preferir un ión sobre otro con valores relativos de afinidad de 15 o más.

La reacción de intercambio iónico es reversible, es decir, puede avanzar en los dos sentidos.

En la reacción se mantiene la electro neutralidad.

Hay sustancias naturales (zeolitas) que tienen capacidad de intercambio, pero en las industrias se utilizan resinas poliméricas de fabricación sintética con muy claras ventajas de uso.

Capítulo I “Revisión Bibliográfica”

Adsorción: El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. La necesidad de una mayor calidad de las aguas está haciendo que este tratamiento esté en auge. Es considerado como un tratamiento de refino, y por lo tanto al final de los sistemas de tratamientos más usuales, especialmente con posterioridad aun tratamiento biológico.

Tratamiento físico –químico

Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso físico - biológico, o si el efluente va a reutilizarse. Este tratamiento suele emplearse para eliminar el fósforo, donde se puede incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO₅ en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema. Es probable que en el futuro se generalice el uso de estos y otros métodos de tratamiento de los residuos a la vista de los esfuerzos que se están haciendo para conservar el agua mediante su reutilización.

Arcilla expandida como medio en filtros biológicos para el tratamiento de Aguas Residuales: Una depuradora tiene como misión tratar las aguas negras transportadas por las alcantarillas, colectores y emisarios, antes de su posterior vertido al cauce receptor para alcanzar la calidad de agua deseada según los usos previstos en dicho cauce.

1.5 Proceso de Separación de las Aguas

Centrifugadores: Los centrifugadores se encargan de la separación de las partículas mediante fuerza de aceleración gravitacional que se logra gracias a una rotación rápida. Este proceso puede provocar la sedimentación o suspensión de las partículas o puede conseguir la fuerza necesaria para la filtración a través de algún tipo de filtro. La aplicación más común es la separación de sustancias sólidas a partir de suspensiones altamente concentradas. Si se usa de esta manera para el tratamiento de las aguas residuales se consigue la deshidratación y creación de sedimento más o menos consistente dependiendo de la naturaleza del lodo tratado, y la aceleración en concentrar o aumentar el grosor de lodo poco concentrado.

Capítulo I “Revisión Bibliográfica”

Principio

El método de separación es similar a la separación por gravedad. La fuerza motriz es mayor al ser resultado de la rotación del líquido: en el caso de la sedimentación, donde la fuerza motriz es el resultado entre las diferencias en densidad de las partículas sólidas y líquidas, la separación se logra con una fuerza del orden de 1000 a 20000 veces mayor que la gravedad.

Tipos

La mayoría de los centrifugadores rotan gracias a algún tipo de fuerza motriz. El tipo de centrifugadores para la sedimentación incluyen:

- 1 Hidrociclones
- 2 Campana tubular centrífuga
- 3 Cámaras de centrifugación
- 4 Centrifugador de cesta imperforada
- 5 Separador de discos
- 6 decantador

Los centrifugadores de sedimentos fueron inventados para la separación entre líquidos y sólidos y para los sólidos no manejables. Pronto se llegó a la conclusión de que este tipo de sistemas tiene una gran cantidad de aplicaciones adicionales desde la separación de sólidos e impurezas, hasta la separación de sólidos en líquidos.

Hidrociclones: La manera más simple de utilizar la fuerza centrífuga para la separación son los hidrociclones. En realidad no es un centrifugador, ya que la separación centrífuga se produce por el movimiento del lodo, inducido por la inyección del material de alimentación de manera tangencial. El principio de operación se basa en el concepto de velocidad terminal de sedimentación de una partícula sólida en un campo centrífugo. La campana tubular centrífuga ha sido usada durante mucho tiempo antes que otros sistemas de centrifugación. Se basa en simple geometría. Su diseño consiste en un tubo, cuyo largo es de varias veces su diámetro que rotan entre apoyos a cada lado. El flujo del proceso entra en el fondo del centrifugador y altas fuerzas centrífugas separan los sólidos que se adhieren a las paredes de la campana, mientras la fase líquida sale en la parte superior del centrifugador.

Debido a que este sistema carece de rechazo de sólidos, los sólidos solo se pueden eliminar parando el funcionamiento del aparato, desmontándolo y arrastrando o lavando los sólidos manualmente.

Capítulo I “Revisión Bibliográfica”

Estos centrifugadores campana tubular tienen capacidad de deshidratación, pero capacidad limitada de separación de sólidos. La espuma generada puede suponer un problema a no ser que se utilicen separadores especiales o bomba centrípeta.

Cámaras-campana de centrifugación: Las cámaras de centrifugación consisten en un número de campanas tubulares organizadas de manera co-axial. Consiste en una campana principal que tienen divisiones cilíndricas insertadas que separan el volumen de la campana en una serie de cámaras anulares que operan en serie. El flujo de alimentación entra en el centro de la campana y la suspensión pasa a través de las distintas cámaras, que van aumentando la distancia del eje. Los sólidos sedimentan en las partes externas en las paredes de las cámaras y el líquido limpio se extrae mediante rebosamiento en la cámara de mayor diámetro. El sistema también supone una clasificación de sólidos en suspensión: las partículas principales se depositan en la cámara interior y las partículas finas en las cámaras subsecuentes. La eliminación de los sólidos sedimentados necesita la parada de la rotación para su limpieza manual.

Centrifugador de cesta imperforada: Se usa cuando el contenido de sólidos en suspensión es muy alto. Consiste simplemente en una cesta o campana tambor, que normalmente rota en torno a un eje vertical. Los sólidos se acumulan y comprimen debido a la fuerza centrífuga pero no son deshidratados. El líquido residual drena al parar la rotación, la capa de sólidos se remueve manualmente mediante cepillado o retirada con pala. La descarga se puede conseguir mediante un separador y tubería para remover el líquido residual y después mediante la aplicación de una pala para cortar el sólido formado. Esto evita la parada del sistema para su limpieza.

Separador de discos: El diseño más limpio se basa en una cámara cerrada que contiene discos, donde cualquier sólido recogido en la parte externa de la cámara, desde donde se retiraran manualmente al parar la rotación. Los sólidos son extraídos de la cámara mediante una serie de métodos incluidos las boquillas, que se abren continuamente, y que permiten la retirada de lodo denso. En otros diseños mas complicados boquillas con válvulas se abren automáticamente cuando la profundidad del sólido en la cámara alcanza cierto valor, y luego se cierra cuando los sólidos han sido extraídos. El diseño mas complicado, consiste en una cámara abierta: donde las carcasas de la cámara se separan de manera circunferencial durante un corto periodo de tiempo, en donde esta apertura también viene condicionada por la profundidad de los sólidos en la cámara.

Decantador: El decantador opera principalmente mediante la sedimentación causada por la separación de sólidos en suspensión en función de la densidad del líquido donde se encuentran

Capítulo I “Revisión Bibliográfica”

suspendidos. Si la diferencia de densidad es mayor que la gravedad esto provoca una fuerza motriz suficiente para la separación en un tiempo razonable. Si la densidad es pequeña, o el tamaño de las partículas es pequeño, entonces la separación por gravedad se produce durante mucho tiempo y la fuerza de separación debe aumentarse mediante fuerzas centrifugas mayores que la gravedad.

La principal ventaja del decantador es la posibilidad de remover sólidos separados en zonas de separación específicas de manera continuada. En comparación con:

Sedimentación por gravedad: el decantador puede alcanzar separaciones que serian muy difícil en un clarificador o separador en láminas, y además produce sólidos más secos.

Hidrocliclones: El decantador tiene una mayor capacidad de líquido, puede manejar mayores concentraciones de lodo y producir sólidos más secos.

Campana tubular centrifuga: El decantador ofrecer mayores capacidades, puede manejar mayores concentraciones de lodo y producir sólidos más secos.

Centrifugador de cesta imperforada: El decantador opera de manera continuada, puede manejar mayores concentraciones de lodo y producir sólidos más secos.

Separador de discos: El decantador tiene una operación continuada, puede manejar mayores concentraciones de lodo y producir sólidos más secos.

1.6 Separadores de Hidrocarburos:

El separador de hidrocarburos es un elemento esencial en el tratamiento de aguas residuales que puedan estar contaminadas por aceites de origen mineral. No son válidos fluidos como emulsiones de grasas, aceites de origen animal o vegetal y aquellas aguas que contengan productos químicos agresivos.

Es necesaria su instalación en estaciones de servicio, talleres mecánicos, garajes, lavaderos de vehículos, etc.

El tratamiento tiene lugar en dos etapas:

Decantación previa de arenas y lodos, en el desarenador y separación de hidrocarburos y aceites en el separador de hidrocarburos.

Una vez realizada la decantación de sólidos en el desarenador, el efluente es tratado en el separador de hidrocarburos, donde a partir de la diferencia de pesos específicos entre el agua y el hidrocarburo se produce su separación. El hidrocarburo, de densidad inferior al agua, flota en la superficie del separador.

Capítulo I “Revisión Bibliográfica”

Los perfiles hidropack son desarenador, separador de hidrocarburos, indicador de nivel y arqueta de toma de muestras.

Los perfiles hidrocompact, hidrotén es un equipo compacto formado por desarenador y separador de hidrocarburos, indicador de nivel y arqueta de toma de muestras con un elevado rendimiento de depuración.

Los separadores coalescentes incorporan unas células coalescentes que nos permiten conseguir un mayor rendimiento. Este relleno provoca un engrosamiento de las pequeñas gotas de hidrocarburo por agrupación de éstas. Las gotas de mayor tamaño se separan mejor del efluente de modo que se dirigen más rápidamente hacia la superficie.

El separador coalescente con obturación se utiliza para una concentración máxima a la salida de 5 mg/l de hidrocarburo. Desde 1,5 a 25 l/s. En formato rectangular o cilíndrico y con la opción de obturador y desarenador. Mediante la obturación automática se impide la salida de hidrocarburos al exterior cuando el equipo está lleno, evitando así un vertido contaminante.

Membrana: Las membranas son barreras físicas semipermeables que separan dos fases, impidiendo su íntimo contacto y restringiendo el movimiento de las moléculas a través de ella 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 membrana.

Las características principales de la separación con membranas

Permiten la separación de contaminantes que se encuentran disueltos o dispersos en forma coloidal, además de eliminar los contaminantes que se encuentran a baja concentración, estas operaciones se llevan a cabo a temperatura ambiente, son procesos sencillos y diseños compactos que ocupan poco espacio, pueden combinarse con otros tratamientos no eliminan realmente el contaminante, únicamente lo concentran en otra fase, puede que se de el caso de incompatibilidad entre el contaminante y la membrana, uno de los problemas de la membrana es el ensuciamiento ya que se necesitan otras sustancias para llevar a cabo la limpieza, ajustes de pH, ciclos de parada para limpieza del equipo, otro problema es el deficiente escalado: doble flujo-doble de equipos (equipos modulares), además del ruido generado por los equipos necesarios para conseguir altas presiones.

Tipos de membranas

Las membranas se pueden fabricar con materiales poliméricos, cerámicos o metálicos. Atendiendo a su estructura física se pueden clasificar en:

Membranas micro-porosas

Estructuras porosas con una estrecha distribución de tamaño de poros. Las membranas que se encuadran en este grupo tienen una distribución de diámetros de poro de 0.001mm – 10mm.

Los procesos de depuración de aguas que utilizan estas membranas, micro filtración y ultra filtración, se basan en impedir por exclusión el paso a través de la membrana de aquellos contaminantes de mayor tamaño que el mayor diámetro de poro de la membrana, siendo parcialmente rechazadas aquellas sustancias cuyo tamaño está comprendido entre el mayor y el menor de los diámetros del poro. En este tipo de membranas la *fuerza impulsora* responsable del flujo de permeado a través de la membrana es una diferencia de presión.

Los *filtros profundos* actúan reteniendo en su interior, bien por adsorción en las paredes de los poros o por su captura en los estrechamientos de los canales de los poros, las sustancias contaminantes que se quieren excluir del agua. Son membranas isotrópicas y habitualmente se utilizan en micro filtración.

Los *filtros tipo tamiz* son membranas con una estrecha distribución de tamaños de poros. Capturan y acumulan en su superficie las sustancias contaminantes de mayor tamaño que los poros. Las sustancias de menor tamaño que pasan la membrana no son retenidas en su interior, sino que salen formando parte del permeado. Suelen ser membranas anisótropas y se utilizan en ultra filtración.

Membranas densas

Estructuras sin poros donde el paso de las sustancias a través de la membrana sigue un modelo de solución-difusión, en el que los componentes de la solución se disuelven en la membrana y posteriormente se difunden a través de ella. La diferente solubilidad y difusividad de los componentes de la solución en la membrana permiten la separación de sustancia del tamaño de moléculas e iones. Debido a las fuertes presiones a las que tienen lugar estos procesos las membranas son de tipo anisótropo. La ósmosis inversa y la nanofiltración son procesos que utilizan este tipo de membranas.

Membranas cargadas eléctricamente

Pueden ser porosas o densas, con restos aniónicos o catiónicos fijos en la estructura de la membrana. La separación es consecuencia de la carga de la membrana, siendo excluidos aquellos componentes cuya carga sea la misma que la de la membrana. La separación también depende de

Capítulo I “Revisión Bibliográfica”

la carga y concentración de los iones de la solución: los iones monovalentes son excluidos menos eficazmente que los divalentes, así mismo, el proceso de separación es menos efectivo en soluciones de elevada fuerza iónica.

Estas membranas se utilizan en los procesos de electrodiálisis.

Membranas anisótropas

Las membranas anisótropas son estructuras laminares o tubulares donde el tamaño de poro, la porosidad o la composición de la membrana cambia a lo largo de su espesor. Están constituidas por una delgada película (densa o con poros muy finos) soportada en otra más gruesa y porosa, de tal forma que la primera es la responsable del proceso de separación y la segunda aporta al sistema la suficiente resistencia mecánica para soportar las condiciones de trabajo. La película responsable del proceso de separación y la que aporta la resistencia mecánica pueden estar fabricadas con el mismo material (membranas de Loeb-Sourirajan) o con materiales diferentes (membranas de tipo composite).

Debido a que la velocidad de paso de las sustancias a través de la membrana es inversamente proporcional a su espesor, las membranas deberán ser tan delgadas como sea posible. Mediante la fabricación de membranas anisótropas (asimétricas) es posible conseguir espesores de membranas inferiores a 20 mm, que son los espesores de las membranas convencionales (isótropas o simétricas). La mejora en los procesos de separación, debido a este tipo de membranas, ha hecho que sean las de elección en los procesos a escala industrial.

Capítulo II. Fundamentos tecnológicos

En este capítulo se expone una breve descripción del proceso de fabricación de aceite básico y se identifican los diferentes efluentes del proceso. Se propone el tratamiento a utilizar, se describen las diferentes etapas del sistema mismo y se realizan los balances de materiales.

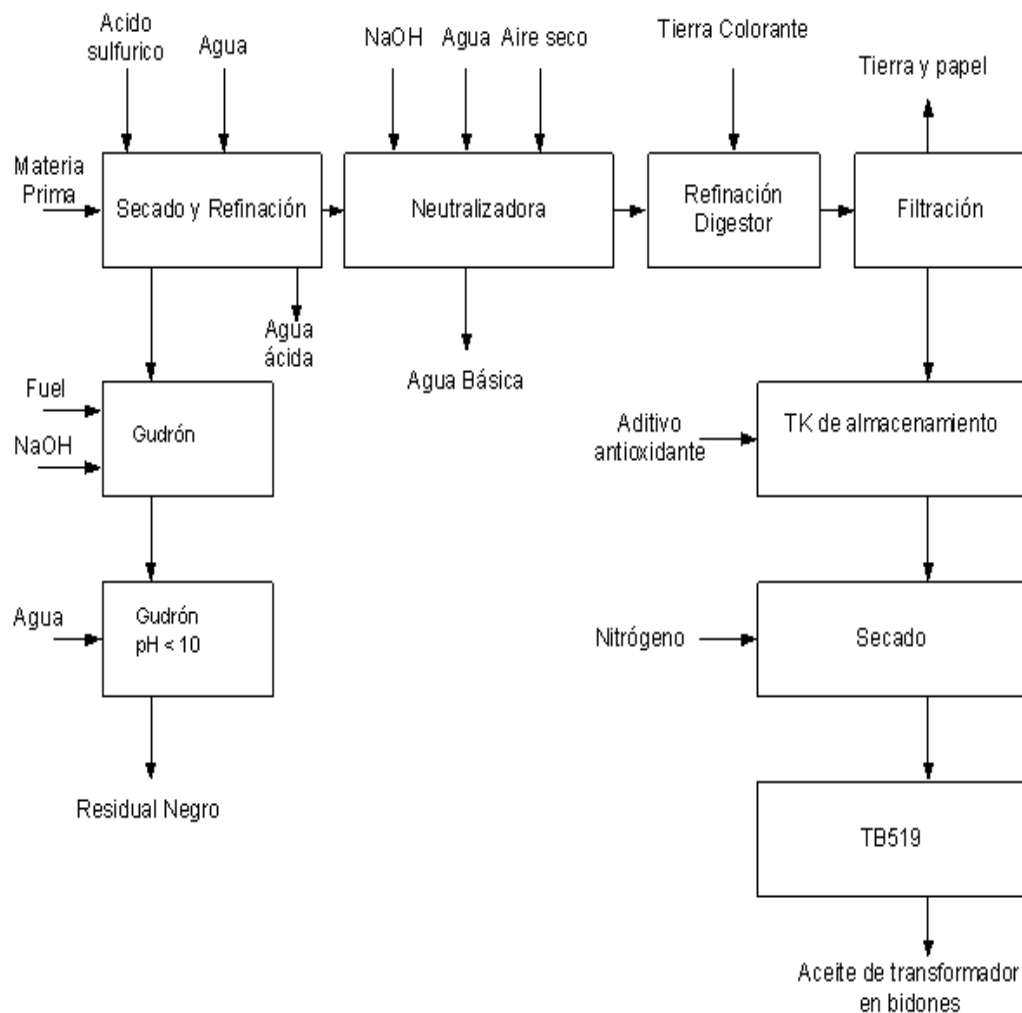
2.1 Descripción del Proceso Tecnológico.

En estos momentos la Refinería Sergio Soto de Cabaiguán se encuentra refinando dos tipos de crudos pesados uno procedente de Matanzas para la producción de asfalto líquido y el otro procedente de Pina Majagua para la producción de Aceites Básicos Nacional AC-12I y componente Sigatoca, así como Aceite dieléctricos para Transformadores de hasta 13 KVA, cuyos puntos de extracción se ubican en Cristales y Jatibonico

Los crudos se procesan en la Planta de Destilación Atmosférica, donde se realiza un corte lateral DR-3 para obtener la materia prima para la Planta de Aceites Básicos. Este proceso se lleva a cabo de forma discontinua.

El proceso se desarrolla mediante el llenado de una refinadora que alberga una capacidad disponible de 90 m^3 de materia prima a tratar. Esta es tratada con un 7 % de ácido sulfúrico de concentración al 98 %, desglosándose en un primer corte de un uno % y tres cortes de dos %. Cada corte de ácido después de haber tenido el tiempo de contacto requerido con el aceite a refinar es purgado a un tanque horizontal que contiene fiul y oil ligero, donde estos siempre van acompañado con trazas de aceite y otras impurezas que se producen durante la refinación para ser neutralizados con hidróxido de sodio al 48 % de concentración buscando un valor de acidez igual o menor que 10. Después de neutralizar cada uno de estos cortes se envían por separado a un tanque que contiene agua básica (TK50) proveniente del lavado de la neutralizadora. Esta agua sale con un pH neutro que posteriormente es enviada al tanque de almacenamiento 51. Después que el aceite es refinado se le adiciona un baño de arrastre con un volumen de 3 m^3 de agua. Una vez concluido el tiempo de decantación del agua, el aceite es pasado hacia una neutralizadora donde se le adiciona una solución de hidróxido de sodio de 6 a 10 % de concentración para neutralizar la acidez del mismo y una vez neutro se comienza a realizar los lavados con agua para reducir a cero las cenizas. Cuando se está produciendo aceite transformador cada neutralizadora se le adiciona aproximadamente 8 lavados y cada lavado cuenta con un volumen aproximado de 5 m^3 para un volumen de agua de 40 m^3 con un pH básico. Esta agua de los lavados se almacena en el tanque 50 y es reutilizada para los lavados del gudrón neutralizado quedando en un pH neutro, para luego ser almacenada en el tanque 51 y posteriormente vertida en los lugares establecidos.

Diagrama de bloque de la planta de Aceites Básico



En el proceso se generan residuales sólidos y líquidos. Los residuales sólidos se generan en la etapa de filtración, los mismos son tierra blanqueadora y papel filtrante cuyo destino final es la incineración. Los residuales líquidos compuestos por las llamadas aguas negras por su alto contenido de hidrocarburo, producen un impacto ambiental negativo y no se dispone un tratamiento para la disposición final de dicho residual.

2.2 Caracterización del residual líquido.

Para la caracterización del residual líquido se extrajeron muestras una vez homogenizado y agitado el mismo, en diferentes puntos y alturas de los tanques destinados al almacenamiento del residual procedente del proceso de obtención de aceites. Posteriormente se trasladó al laboratorio de agua del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos. A estas muestras se le hicieron varios ensayos como fue el caso de conductividad, pH, fósforo total (P_T), la demanda química de oxígeno (DQO), la

demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), la presencia de nitrógenos totales Kjeldhal (NTK), así como de grasas, aceites y fenoles.

Los valores de las variables medidas son muy superiores al compararlo con la Norma Cubana NC 27:1999 "Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado". Especificaciones que regulan el vertimiento de residuales líquidos a cuerpos de aguas interiores.

2.3 Pre-tratamiento del residual líquido.

Esta primera etapa de pre-tratamiento, tiene como objetivo buscar las condiciones adecuadas que posibilite la separación de la fase oleosa y la fase acuosa utilizando para ello diferentes tipos de floculantes y absorbentes químicos.

Fueron realizadas varias pruebas cualitativas a nivel de laboratorio utilizando zeolita, carbón activado y cenizas de bagazo, a diferentes concentraciones y pH sin obtener resultados positivos. Posteriormente fueron realizadas otras pruebas utilizando ahora como floculante la alúmina y variando el volumen de residual, cantidad de alúmina y pH, logrando las condiciones adecuadas para la separación definida de ambas fases.

En la Tabla 1 se puede observar los diferentes ensayos realizados y los resultados obtenidos. Siendo las condiciones más adecuadas para lograr la separación de ambas fases, cuando fue utilizado 5 mL de residual con un volumen total de 100 mL, 1.5 g de alúmina y un pH neutro.

Tabla 2.1: Resumen de los ensayos realizados con alúmina y resultados obtenidos

Lograda la separación de ambas fases, fue posible cuantificar la proporción de las mismas.

mL de muestra	V (final) mL	g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Tiempo de agitación (minutos)	Comentario
50	50	0.5	5	No hubo separación.
10	50	1.0	5	No hubo separación.
5	50	0.5	5	Separación insuficiente
5	50	1.0	5	Separación insuficiente
5	50	1.5	5	Poca separación
5	100	0.5	5	Fase acuosa turbia
5	100	1.0	5	Fase acuosa turbia
5	100	1.5	5	Separación de ambas fases

Siendo los valores obtenidos 3.54 % para fase oleosa y 96.46% de agua (Fig. 1).

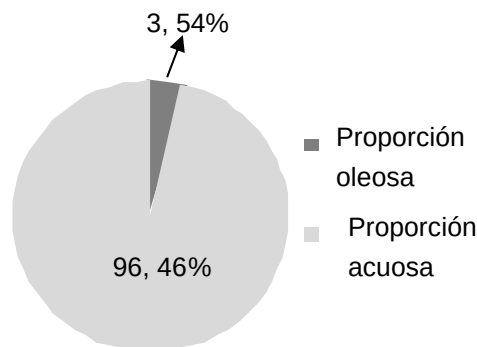


Figura 2.1: Porcentaje de la fase acuosa en la muestra.

La fase acuosa fue enviada al laboratorio de agua del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos donde se le hicieron varios ensayos para su caracterización.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de los ensayos realizados, además de presentar los valores establecidos por la Norma Cubana.

Tabla 2.2 Resultados de la caracterización de la fase acuosa.

Ensayo realizado	Valor obtenido	NC 27-99
pH	3,60	6.5-8.5
CE μ mhos/cm	12.24	1400
Fósforo total (mg/L)	0,0147	2
Nitrógeno total Kjeldhal (NTK) (mg/L4,20		5
DQO (mg/L)	2600	70
DBO ₅ (mg/L)	175	30
Grasas y aceites (mg/L)	<LC*	10
Fenoles (mg/L)	<LC*	-

*El límite de cuantificación del índice de fenoles, grasas y aceites fuero 0.1 y 9 mg/L respectivamente

La caracterización de la fase acuosa reveló que a pesar de las grandes diluciones aplicadas a este residual, el contenido de materia orgánica fue elevado. Las concentraciones de la DQO y DBO₅

resultaron 37 y 5.8 veces superiores respectivamente a los valores establecidos por la NC usada (Tabla 2).

El pH registró valores que caracterizan a esta fase acuosa como ácida lo cual impide el vertimiento al medio, según lo regulado en la NC. Este valor tan bajo de pH fue debido al uso de la alúmina. Esta sal cuando se disuelve en agua produce una hidrólisis ácida porque proviene de una base débil y un ácido fuerte, por lo cual su uso produjo una caída de pH.

Tanto el valor del pH como los de la materia orgánica restringen el uso directo de esta fase acuosa. Para su posterior utilización es necesario aplicar un proceso de neutralización y disminución de la carga orgánica.

2.4 Propuesta de tratamiento para el residual líquido.

Según las características del residual y su volumen se propone la siguiente alternativa de tratamiento, que tiene como meta principal lograr el mayor grado de remoción posible de los compuestos orgánicos tóxicos y peligrosos e inorgánicos presentes en el mismo y evaluar su factibilidad desde el punto de vista técnico económico y ambiental.

El tratamiento propuesto consta de varias etapas: se comienza por una primera etapa de estabilización y neutralización del residual, seguida de una etapa de separación por decantación flotación, otra etapa de neutralización y finalmente de filtración por membrana.

En la Figura 2.2 está representado el esquema tecnológico propuesto del proceso de tratamiento de agua residual.

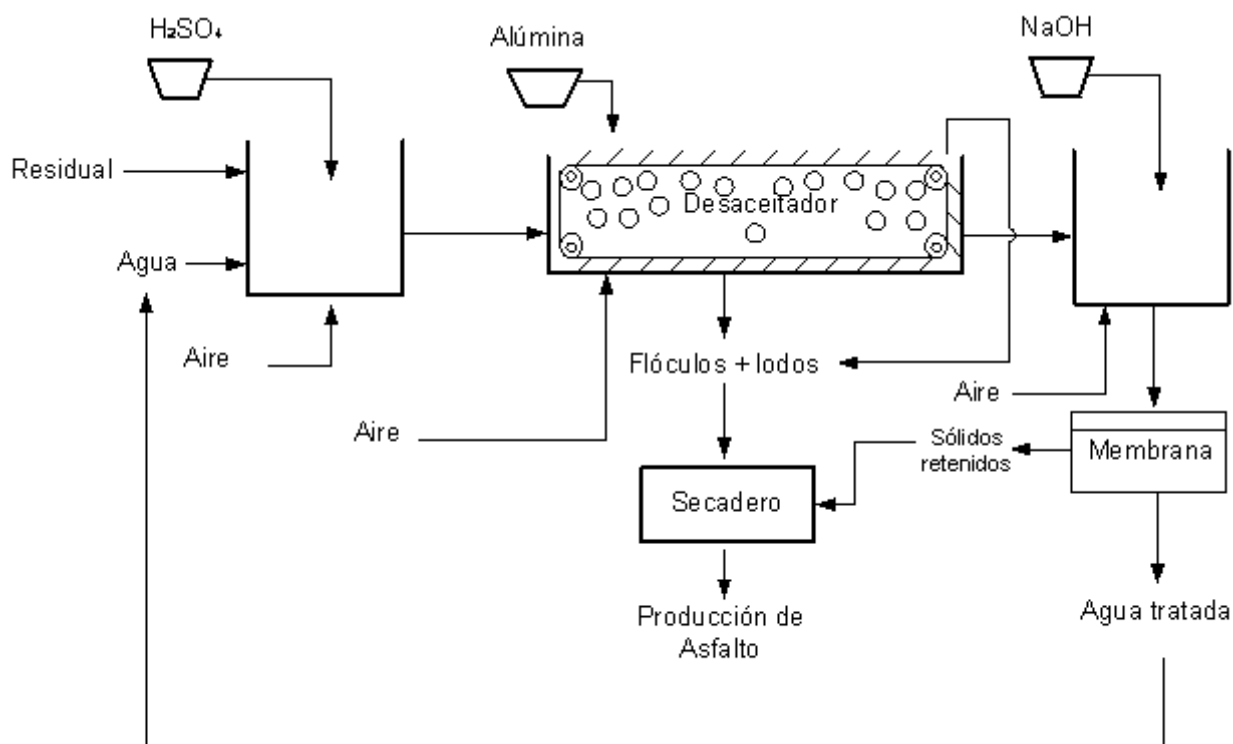


Figura 2.2: Esquema tecnológico del proceso de tratamiento de agua residual.

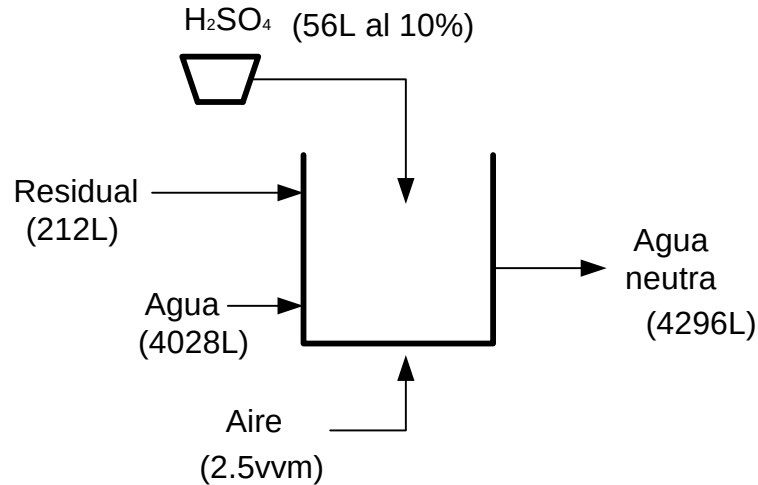
2.5 Breve descripción del proceso de tratamiento por etapas. Balances de materiales.

La descripción del proceso de tratamiento y el dimensionamiento de los equipos se realizará por etapas teniendo en cuenta los parámetros fundamentales de operación, las corrientes de entrada y salida, y los balances de materiales. La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) será diseñada para operar de forma discontinua (por lotes o partida), según los requerimientos del proceso tecnológico.

Teniendo en cuenta los grandes volúmenes de agua para diluir el residual, se elige un tratamiento secuencial, fraccionando el residual en ocho partes equivalentes a un volumen de aproximadamente 212L en cada partida. El volumen de agua que se adiciona a la primera partida, se hace recircular a la segunda y así sucesivamente, hasta la partida ocho, aprovechando el 98 % del agua en cada una.

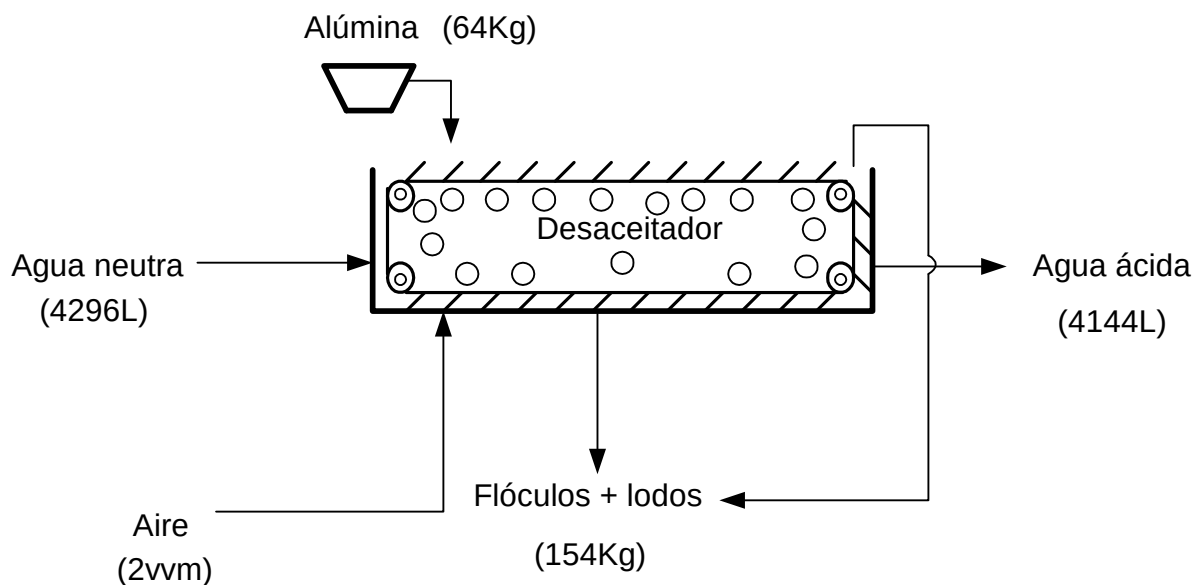
2.5.1. Balance de masa para el tanque de pre-tratamiento inicial.

En esta etapa se realiza el proceso de dilución del residual seguida de la neutralización con ácido sulfúrico y se inyecta aire para garantizar la homogenización y preparar las condiciones necesarias para enviar a la siguiente etapa de desaceitado.



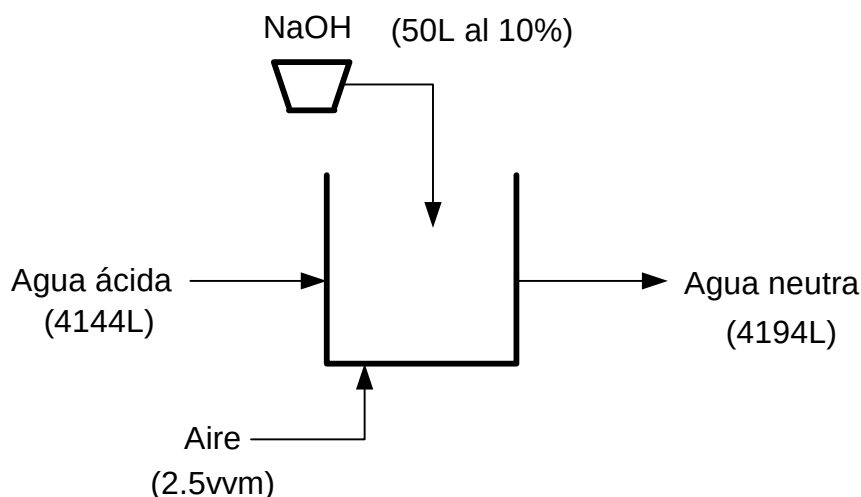
2.5.2. Balance de masa en el desaceitador.

El flujo de agua residual procedente de la etapa anterior se le dosifica la cantidad de alúmina adecuada, se mantiene el flujo de aire adecuado y ocurre la separación de ambas fases. La fase oleosa sube paulatinamente a la superficie para ser evacuados y retirados mediante esteras transportadoras provistas de paletas de raspado en el mismo decantador y recolectados para ser utilizados en la producción de asfalto. En este mismo proceso son arrastrados también por la estera los lodos sedimentados.



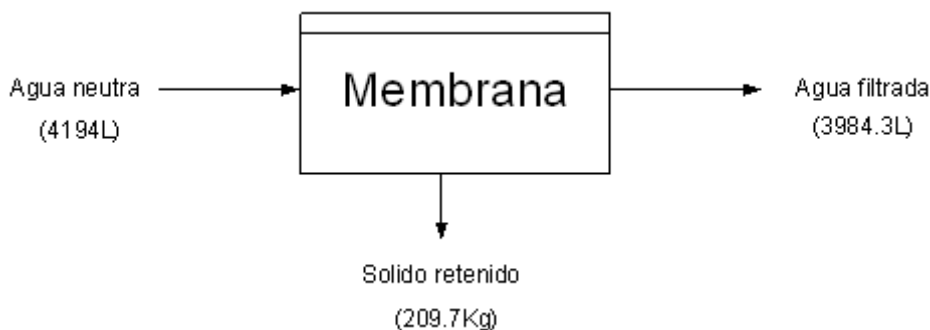
2.5.3. Balance de masa en el tanque de neutralización 2

La masa de agua separada es trasladada a otro tanque con aeración donde se neutraliza con hidróxido de sodio.



2.5.4 Balance de masa en la membrana

En esta etapa el agua es sometida a un proceso de tratamiento a través de una membrana de ultrafiltración. Después de eliminar las partículas orgánicas e inorgánicas restantes, esta puede ser reutilizada en el proceso.



2.6 Aprovechamiento y recirculación de los residuales en la planta de tratamiento prevista.

La planta de Tratamiento de Aguas Residuales (TAR) tiene una importancia decisiva en el acondicionamiento final de los vertidos, pero las actuaciones no se limitan a garantizar su correcto

funcionamiento. Una gestión apropiada de todas las corrientes de aguas residuales antes de su envío a la depuradora final, producirá varios efectos deseables:

- Reducción del caudal de residual final de vertido.
- Minimización del consumo de agua fresca.
- Mejoras económicas en el proceso.

En la figura 2.3 se representa el flujo seguido para el aprovechamiento del agua tratada.

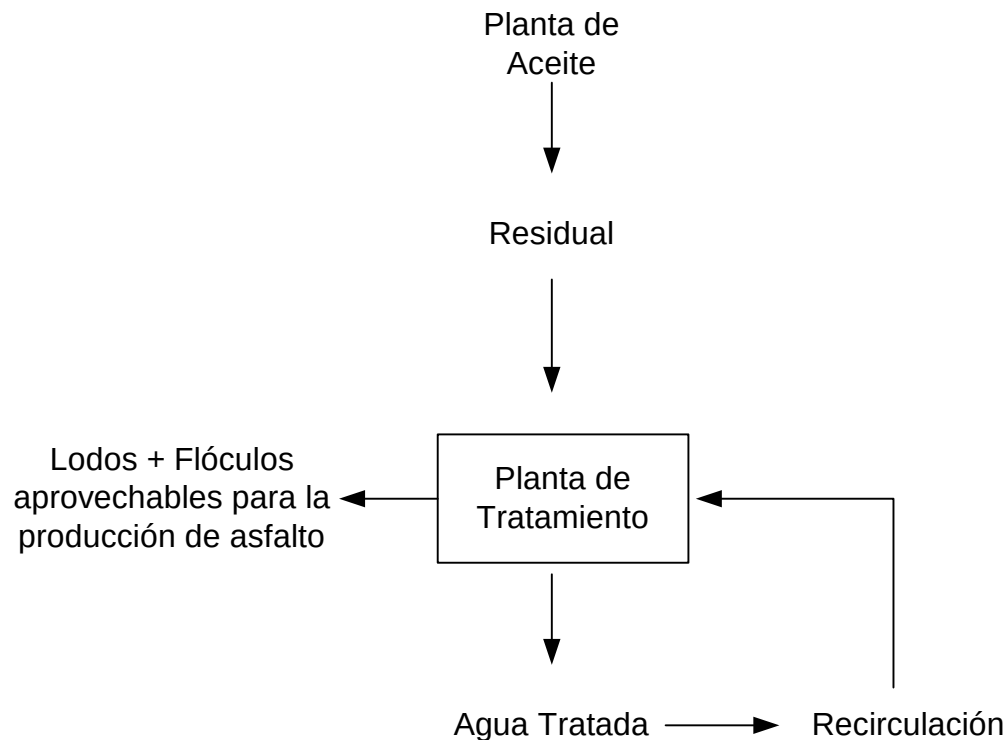


Figura 2.3: Aprovechamiento del agua tratada.

Conclusiones parciales

- ✓ El residual líquido que se genera a partir de la refinación del aceite en la planta de Aceites Básicos, una vez separada ambas fases, está constituido por un 96.46% de fase acuosa y 3.54% de fase oleosa.
- ✓ La fase agua y aceite se logra separar utilizando, sulfato de alúmina y aireación en un decantador - desaceitador provisto de estera transportadora.
- ✓ La caracterización de la fase acuosa reveló el carácter ácido de dicha fase y su alto contenido de materia orgánica, por lo cual se propone una alternativa de tratamiento que comprende una etapa de neutralización, otra de separación mecánica por flotación y por último una de filtración por membrana para la fase acuosa con el objetivo de que esta pueda ser reutilizada en el proceso.
- ✓ Dada sus características la fase oleosa se recomienda evaluar su posible utilización en la producción de asfalto

Capítulo 3. Diseño y análisis económico

En el capítulo se realiza un grupo de tareas que comprenden el diseño del equipamiento propuesto y se realiza una evaluación técnico-económica de dicho proceso, a partir de los costos de adquisición del equipamiento y el cálculo de los costos de inversión y producción. Además se hace una valoración de los indicadores económicos dinámicos como el valor actual neto, la tasa interna de retorno y el período de recuperación de la inversión.

3.1 Diseño del tanque de neutralización 1

En la Tabla 3.1 siguiente se observa el dimensionamiento del tanque de neutralización 1. En las ecuaciones se incluye el sobre diseño, además a este se le suministra un flujo de aire por el fondo.

Tabla 3: Dimensionamiento del tanque de neutralización 1.

PARÁMETROS	ECUACIONES	RESULTADOS
Volumen	$V = \frac{m}{\rho}$	V= 4.4m ³
Diámetro	$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi n}}$	D=2.36m
Altura	$H = \frac{V}{\pi R^2}$	H=1m

3.2 Diseño del desaceitador

Los Desaceitadores son depósitos rectangulares de circulación longitudinal, provistos de distribuidores, de un barrido de fondo y de superficie, de dispositivos de salida del agua tratada y de recogida de aceites en la superficie y de los fangos depositados. Este tipo de desaceitador es el más adecuado en el caso de aguas muy cargadas y de variaciones importantes en su concentración. Se le suministra aire por el fondo para facilitar la formación de flóculos. Existen desaceitadores de un compartimiento simple y también de dos compartimientos.

Tabla 3.2: Diseño del desaceitador

PARÁMETROS	ECUACIONES	RESULTADOS
Radio crítico de partícula	$r_c = \sqrt[3]{\frac{9\mu^2}{4g} * \frac{\rho_A}{\rho_A - \rho_P}}$	0.02cm
Diámetro crítico de partícula	$D_c = 2r_c$	0.04cm
Relación Altura de Líquido/Ancho de depósito	$R_{HA} = \frac{H_l}{A_d}$	0.45
Altura del líquido	-	1.5m
Ancho del depósito	-	3.33m
Velocidad de flujo Horizontal	$Vf_H = \frac{Q}{A_{f_h}}$	21m/h
Velocidad ascensional	$Vf_A = \frac{Vf_H}{15}$	1.4m/h

En la figura 3.1 se muestra un desaceitador de dos compartimientos, este está acoplado de una estera que barre los sólidos sedimentados y recoge los flocúlos formados.

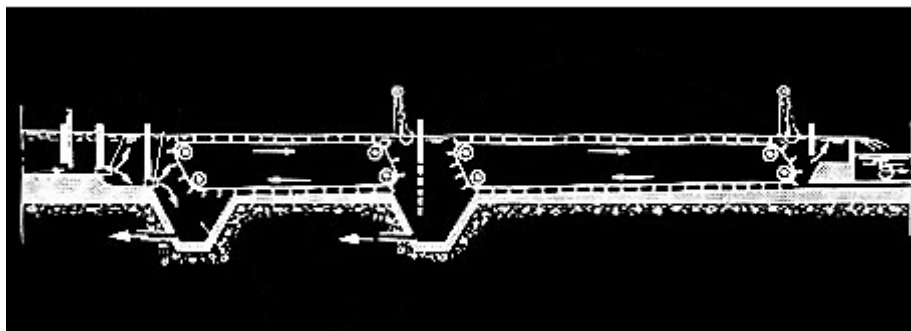


Figura 3.1: Desaceitador de dos compartimientos.

3.3 Diseño del tanque neutralizador 2

En la Tabla 3.3 siguiente se observa el dimensionamiento del tanque de neutralización 2. En las ecuaciones se incluye el sobre diseño, además a este se le suministra un flujo de aire por el fondo.

Tabla 3.3: Dimensionamiento del tanque de neutralización 2.

PARÁMETROS	ECUACIONES	RESULTADOS
Volumen	$V = \frac{m}{\rho}$	V= 4.4m ³
Diámetro	$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi n}}$	D=2.36m
Altura	$H = \frac{V}{\pi R^2}$	H=1m

3.4 Diseño del sistema de tubería y bombeo.

La tabla 3.4 muestra los tramos de tuberías existentes en el proceso de tratamiento.

Tabla 3.4: Dimensionamiento de las tuberías

Tubería	Diámetro (m)	Longitud (m)	DE (pulg)	DI (mm)	DN (pulg)
1	0,0120	10,3	0,675	12,02	3/8
2	0,0068	11,25	0,405	6,83	1/8
3	0,0178	3	1,05	20,93	3/4
4	0,0070	6	0,54	9,25	1/4
5	0,0040	5,25	0,405	6,83	1/8
6	0,00750	20,50	0,70	9,50	1/4

Tubería 1: Tubería que va desde la planta hasta el tanque de almacenamiento. (Hierro fundido)

Tubería 2: Tubería que va desde el tanque de almacenamiento al tanque neutralizador con ácido sulfúrico. (Hierro fundido)

Tubería 3: Tubería que va desde el tanque neutralizador con ácido sulfúrico al desaceitador. (Acero inoxidable)

Capítulo III “Diseño y análisis económico”

Tubería 4: Tubería que va desde el desaceitador hasta el tanque neutralizador con hidróxido de sodio. (Acero inoxidable)

Tubería 5: Tubería que va desde el tanque neutralizador con hidróxido de sodio hasta la membrana. (Acero inoxidable)

Tubería 6: Tubería que va desde la membrana hasta la incorporación al nuevamente al procesos. (Hierro fundido)

Nota: El material de las tuberías se escogió teniendo en cuenta la agresividad del residual

3.4.1 Bombas

Para bombear el fluido de aguas oleosas desde la planta hasta el tanque de estabilización del pH y de este hasta el desaceitador donde ocurre la separación por floculación se necesitan dos bombas centrífugas ya que estas son recomendadas cuando se opera con fluidos de baja viscosidad. Se calcula la carga y la potencia necesaria de la bomba.

En la tabla 3.5 se muestran los parámetros para el cálculo de las bombas

Tabla 3.5: Parámetros para el cálculo de las bombas

Datos	Fórmulas	Resultados
$Q_{residual} = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ $V_{REC} = 2,2 \text{ m/s}$ $\Delta Z = 4 \text{ m}$ $V_1 = V_2 = 0$ $P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}$ $D = 0,012 \text{ m}$ $L = 10,3 \text{ m}$ $\beta = 1,5 \text{ m}$ $f = 0,048$ $\sum K = 3,2$	$H = \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho * g} + \frac{\Delta(\alpha * V^2)}{2 * g} + h_p$ $h_p = \left(f * \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{V^2}{2 * g}$ $N = \frac{H * \rho * g * Q}{\eta * 1000}$ $N_{inst} = \beta * N$ Referencia (Rosabal Vega, 1998) (Tabla 14) (Pavlov, 1981) (Tabla 1.1)	$\frac{\Delta P}{\rho * g} = 0$ $\frac{\Delta(\alpha * V^2)}{2 * g} = 0$ $h_p = 10,96 \text{ m}$ $H = 14,96 \text{ m}$ $N = 3,665 \cdot 10^{-2} \text{ KW}$ $N_{INST} = 6,231 \cdot 10^{-2} \text{ KW}$

Se escoge un motor trifásico de 0,12KW, 220/440, 60Hz con velocidad sincrónica de 1800r/min.

Para bombear el fluido desde el desaceitador hasta el tanque neutralización con NaOH, luego hacia la membrana y después incluirla al proceso se utilizan cuatro bombas centrífugas con las siguientes características.

La tabla 3.6 muestran los parámetros para el cálculo de las bombas

Tabla 3.6: Parámetros para el cálculo de las bombas

Datos	Fórmulas	Resultados
$Q_{AGUA} = 1.15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ $V_{REC} = 2,2 \text{ m/s}$ $\Delta Z = 3 \text{ m}$ $V_1 = V_2 = 0$ $P_1 = 1 \text{ atm}$ $P_2 = 4 \text{ atm}$ $D = 0,0178 \text{ m}$ $L = 25 \text{ m}$ $\beta = 1,7 \text{ m}$ $f = 0,059$ $\sum K = 4,45$	$H = \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho * g} + \frac{\Delta(\alpha * V^2)}{2 * g} + h_p$ $h_p = (f * \frac{L}{D} + \sum K) \frac{V^2}{2 * g}$ $N = \frac{H * \rho * g * Q}{\eta * 1000}$ $N_{inst} = \beta * N$ Referencia (Rosabal Vega, 1998) (Tabla 14) (Pavlov, 1981) (Tabla 1.1)	$\frac{\Delta P}{\rho * g} = 0.03$ $\frac{\Delta(\alpha * V^2)}{2 * g} = 0$ $h_p = 24,85 \text{ m}$ $H = 27,88 \text{ m}$ $N = 2,249 \cdot 10^{-2} \text{ KW}$ $N_{INST} = 3,823 \cdot 10^{-2} \text{ KW}$

Se escoge una bomba, con rodete y acoplamiento motor –bomba en hierro de fundición gris. Sello mecánico carbón alúmina. Eje de acero inoxidable AISI 316. El motor de la misma es a inducción, 2 polos, 2900rpm, 50Hz, aislamiento en clase F .Protección IP 54 con ejecución IEC34 el mismo es monofásico a 220V, condensador permanente y protección termo amperimétrica incorporada. Trifásico a 220V/440V.

3.5 Costo de equipamiento e inversión:

Se realizará un estudio económico con el objetivo de analizar la factibilidad de la planta propuesta. Se considera que el elemento de mayor peso es el costo de inversión. Este es el conjunto de gastos en recursos humanos y materiales necesarios para la construcción y puesta en marcha de la planta, teniendo en cuenta la selección de los equipos y diseño del equipamiento.

$$CTI = CIF + I \text{ trabajo (Peter, 1991)}$$

(Costo total de inversión = Costo de inversión fija + Inversión de trabajo)

3.6 Determinación del costo de adquisición del equipamiento:

Para el cálculo del costo actual del equipamiento se utiliza el método descrito por Peter utilizando como factor de escalado la regla de la 0.6 Peter (1970) figura 14.56

$$C_{Adqact} = C_{orig} * \left[\frac{I_{Act}}{I_{Orig}} \right]^{0.6}$$

Índice actual = 524.4

Índice original = 381.7

En la Tabla 3.7 se muestran el precio de los materiales de construcción (cemento, arena, gravilla, etc.) estos deben quedar incluidos en cada una de las modificaciones para obtener el costo total de inversión y el costo total de producción.

Tabla 3.7: Precio de los materiales de construcción

Materiales	UM	Precios
Cemento	\$/ saco	3.50 MN
Arena	\$/ m ³	10.50 MN
Piedra	\$/ m ³	8.50 MN
Acero	\$/ m	1.50 MN

La tabla 3.8 muestra el consumo de los materiales que se utilizarán para la construcción de la planta.

Tabla 3.8: Consumo de los materiales para la construcción de la planta.

Materiales	Precio
Cemento	\$70.00
Arena	\$105
Piedra	85 \$/ m ³
Acero	300\$/ m
Total	\$ 7490

Costo del módulo de membrana

Para la instalación de membrana se requiere una serie de accesorios los cuales representan un porcentaje determinado del costo total de la misma según la cantidad de residual a tratar.

Costo del capital de la membrana

1.25 US\$/L/día lo cual equivale a 5242.5 US\$

La Tabla 3.9 muestra la distribución media porcentual del costo del capital.

Tabla 3.9: Distribución media porcentual del costo del capital

Accesorios	%	Costo
Bombas	30	\$ 1572.75
Membrana	20	\$ 1048.5
Estructura	10	\$ 524.25
Tuberías y válvulas	20	\$ 1048.5
Sistema de control	20	\$1048.5
Total	100	\$ 5242.5

Costo de operación de la membrana

1 US\$/L/día equivale a 4194 US\$

En la tabla 3.10 se presenta la distribución media porcentual del costo de operación

Tabla 3.10: Distribución media porcentual del costo de operación

Equipos	%	Costo
Sustitución de membrana	40	\$ 1677.6
Limpieza	20	\$ 838.8
Energía	25	\$ 1048.5
Mano de obra	15	\$ 629.1
Total	100	\$ 4 194

Capítulo III “ Diseño y análisis económico”

Como se observa en la tabla el valor mas significativo es la sustitución de la membrana, esto se debe a que las mismas son muy costosas

El costo original de los tanques neutralizadores es de \$2000 por lo que el costo actual de cada uno es aproximadamente \$2400

Para obtener el costo adquisición del desaceitador se tuvo en cuenta el diseño del mismo, se buscó en los catálogos siendo este de \$ 7 135.5

El cálculo del costo de las bombas se aplicó la regla 0.6 del Peter, la bomba 1 y la bomba 2 costaron \$3000 cada una mientras que las otras costaron \$ 2500 cada una.

La Tabla 3.11 muestra el resumen de los costos de adquisición de cada equipo incluyendo en la misma el sistema de tuberías y accesorios.

Tabla 3.11: Resumen de los costos de adquisición

Equipo	Costo actual \$/U	No de unidades	Costo total	Depreciación
Tanque Neutralizado 1	2400	1	2 400	160
Desaceitador	7 135.5	1	7 135.5	475.7
Tanque Neutralizado 2	2 400	1	2 400	160
Módulo de membrana	5 242.5	1	5 242.5	349.5
Bombas 1 y 2	1 500	2	3 000	200
Bombas 3; 4; 5 y 6	2 500	4	10 000	666.67
Tuberías y accesorios	9.00	56.3	506.35	33.75
Total			30 684.35	2 087.2

Tabla 3.12: Costos directo de inversión

Aspecto	%	Costo(\$)
Costo Actual	-	30 684.35
Instalación y Control	6%CA	1 841.06
Instalación Eléctrica	8%CA	2 454.75
Edificaciones	10%CA	3 068.43
Movimiento del Terreno	4%CA	1 227.37

Capítulo III “Diseño y análisis económico”

CD=\$ 37 075.96

Tabla 3.13: Costos indirectos:

Aspecto	%	Costo (\$)
Ingeniería y Supervisión	5 % CD	1 853.8
Construcción	7 % CD	2 595.32

CI = \$4 449.10

CIF = Costos directos + Costos indirectos

CIF =\$ 41 525.00

I trabajo = 15% CTI

CTI =\$ 48 852.94

3.7 Estimando costo total de producción

CTP = Costos directos + Cargos fijos

Tabla 3.14: Costos directos

Aspecto	Costos (\$/año)
Materia Prima	30 726.45
Mano de obra	4065.35
Salarios	4 399.2
Supervisión	403.52
Electricidad	189.00
Consumo de agua	17 661.97
Mantenimiento y Operaciones	161.1
Laboratorio	406.53
Total	57 893.12

Capítulo III “: Diseño y análisis económico”

$$\text{Obrero} = \frac{1\text{obr}}{\text{turno}} * \frac{1\text{turno}}{\text{día}} * \frac{156\text{días}}{\text{año}} * \frac{11.70\$}{\text{día}}$$

$$\text{Obrero} = 1825.2 \frac{\$}{\text{año}}$$

$$\text{Técnico} = \frac{1\text{obr}}{1\text{turno}} * \frac{1\text{turno}}{\text{día}} * \frac{156 \text{ días}}{\text{año}} * \frac{16.50 \$}{\text{día}}$$

$$\text{Técnico} = 2574 \frac{\$}{\text{año}}$$

$$\text{Supervisión} = 0.1 * \text{MO}$$

$$\text{Supervisión} = \$403.52$$

$$\text{Electricidad} = 3150.2\text{kw} * 0.06 \frac{\$}{\text{kw}}$$

$$\text{Electricidad} = 189 \frac{\$}{\text{año}}$$

Tabla 3.15: Cargos fijos

Aspecto	Costos (\$/año)
Depreciación	3373.9
Seguros	80.54
Total	3 454.44

Costo total de producción es de 61 347.56 \$/año

3.8 Externalidades.

Se considera en las externalidades:

Capítulo III “Diseño y análisis económico”

- Los daños evitados al hombre
- Los daños evitados a la fauna y la flora acuática
- Los daños evitados a las aguas superficiales , subterráneas y al suelo..

La primera externalidad se clasifica como reciprocante porque la planta de aceite genera aguas residuales contaminadas que pueden dañar la salud de las personas que laboran en ella o próximas a ellas, y a las que pueden consumir el agua almacenada en los embalses cercanos. Además el daño ocasionado a los trabajadores significaría pérdidas económicas a la fábrica.

En cuanto a la segunda y tercera externalidad se clasifican como reciprocantes y penetrantes, ya que los compuestos orgánicos ejercen efectos nocivos en los peces y plantas acuáticas, y contamina las fuentes de agua potable, con lo cual se causarían daños y alteraciones de los ecosistemas del lugar, es recíproco ya que la persona que ingiera peces intoxicados y agua contaminada también se enfermaría, y además penetrante ya que los cambios que se introducen serían catastróficos para el medio ambiente y las personas.

3.9 Métodos empleados para valorar las externalidades.

Las externalidades son difíciles de cuantificar ya que la contaminación de las aguas pueden ocasionar varios tipos de daños a la salud y diferentes alteraciones en diferente ecosistema; Para poder obtener un resultado hay que aplicar el método de la valoración mediante mercados artificiales o valoración contingente, el cual se aplica a proyectos en los que intervienen bienes públicos como el agua. Se basa en la aplicación de encuestas estratificadas a las personas preguntándoles lo que estarían dispuestos a pagar por evitar la contaminación en embalses, ríos o en aguas superficiales y subterráneas.

Tabla 3.16: Ingresos

Ingresos	CUP
Ahorro por no pagos de multas (Decreto 200/contravenciones)	\$3 750.00
Daños evitados a las personas	\$8 500.00
Daños evitados a la flora y fauna acuática, y a las aguas superficiales , subterráneas y Suelo.	\$50 000.00
Total	\$62 250.00

3.10 Cálculo de los indicadores económicos de rentabilidad VAN, TIR, PRD

Además del estimado de los costos inversión y producción, se realizó un estimado de otros tres indicadores económicos muy importantes como son: el valor actual neto (**VAN**), la tasa interna de retorno (**TIR**), y el período de recuperación de la inversión (**PRD**). Se estimaron los flujos de caja suponiendo que el servicio se ofrecería a 0.1 \$/litro de agua residual a procesar, con una tasa anual de descuento del 15% y que el pago se hará al final del primer período. Para las operaciones de cálculo del **VAN** y el **TIR** fue utilizado el paquete estadístico incluido en **Microsoft Excel, 2007**.

La obtención de un valor actual neto (VAN) positivo indica que en la inversión en el proyecto se producen 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 interna de retorno (TIR) está íntimamente relacionada al VAN; y es la tasa de interés correspondiente a un valor neto actual cero (0).

Los resultados obtenidos en la figura 3.2 muestran valores del VAN igual a 102.9\$ y una TIR de 18%, permitiendo esto recuperar la inversión en un periodo de 4 años.

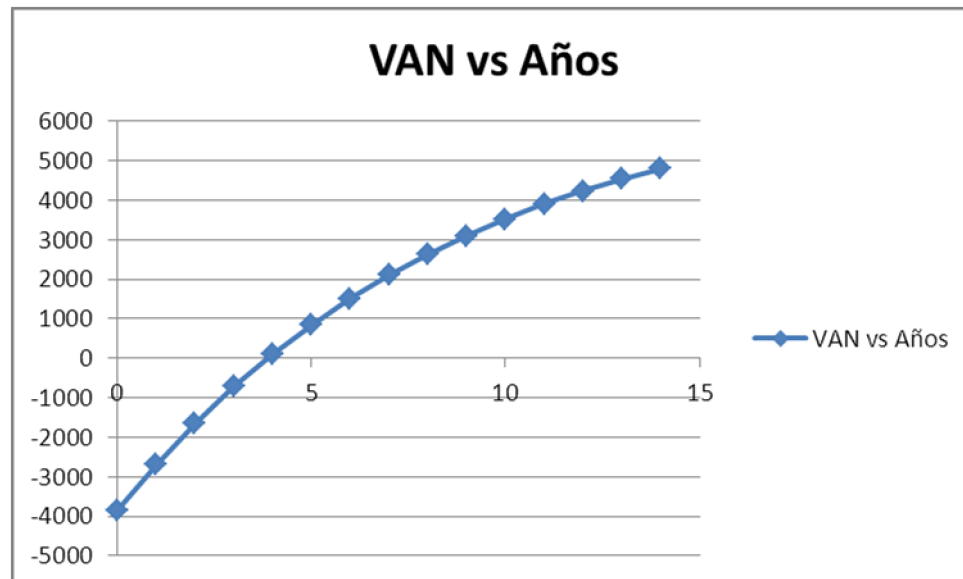


Figura 3.2: Resultados de los indicadores Económicos.

Conclusiones Parciales

1. Se realizó el diseño tecnológico del equipamiento fundamental del proceso para el tratamiento de las aguas residuales de la planta de aceites básicos considerando un tratamiento convencional para este tipo de residual que consta con una etapa de neutralización, seguido de un proceso de separación físico mecánico mediante un separador desaceitador que separa ambas fases, así como recolectar la fase oleosa y los lodos en la parte inferior del mismo. Finalmente las aguas se trasladan a un proceso de filtración mediante membrana que permite reutilizar el agua al proceso
2. El impacto económico fundamental del sistema de tratamiento viene dado por la factibilidad de reutilizar el agua a la salida de la membrana para la reincorporación de la misma al proceso.
3. Fue considerado también la valoración de externalidades por reducción de daños evitados a la salud y al medio ambiente que según el estimado asciende a **\$62 250.00**.
4. La valoración económica de la inversión, a partir de los resultados obtenidos en el estimado de los costos, la valoración de externalidades, y a través del análisis de los indicadores económicos TIR, VAN y PRD demuestra que: el proceso de tratamiento de aguas residuales contaminadas puede ser factible desde el punto de vista económico, lo que debe permitir recuperar la inversión en un período de 4 años.

Conclusiones

1. En este trabajo se propone una alternativa de tratamiento para los residuales líquidos tóxico y peligroso generados en la planta de aceites básicos de la refinería Sergio Soto Alba de Santic Spiritus, que consta de los procesos de neutralización, separación, y ultrafiltración con membrana, mediante el cual, se logra la recirculación del agua al proceso, y se elimina los efectos negativos que los mismos provocan al hombre y al medio ambiente.
2. Fueron realizados los balances parciales de materiales por etapas, el esquema tecnológico, y el diagrama de flujos, los cuales condujeron al diseño tecnológico del equipamiento fundamental del tratamiento propuesto.
3. La valoración económica de la inversión, a partir de los resultados obtenidos en el estimado de los costos, la valoración de externalidades, y a través del análisis de los indicadores económicos TIR, VAN y PRD demuestra que el proceso de tratamiento de aguas residuales contaminadas puede ser factible desde el punto de vista económico, lo que debe permitir recuperar la inversión en un período de 4 años.

Recomendaciones.

1. Corroborar los parámetros de diseño con los de operación, luego de la puesta en marcha de la planta, y ajustar el sistema de tratamiento de aguas residuales a las condiciones reales del proceso.
2. Continuar trabajando en el estudio de alternativas que permita la Reducción del caudal de residual final de vertido mediante:
 - a) La desagregación de las aguas residuales ácidas y básicas sin mezclarla con el residual negro.
 - b) Utilización de otros coagulantes floculantes y /o adsorbentes u algún tratamiento biológico.
3. Realizar la caracterización de los lodos y flóculos evacuados en el desaceitador para evaluar su utilización como materia prima en la producción de asfalto.

Bibliografía

1. Aguas negras (2008): Aguas negras. http://es.wikipedia.org/wiki/Aguas_negras
2. Aquello, M (1998): Serie monografía. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Secretaria General de Medio ambiente. Centro de Publicaciones Secretaria General Técnica. Ministerio de medio ambiente.
3. ASTM Standards (1916): Annual book of ASTM Standards, part 17, American Society for Testing and Materials. Philadelphia, USA.
4. Díaz, R. (1987): Tratamiento de aguas y aguas residuales.
5. DYNA (1998): Revista Mensual DYNA
6. Domínguez, E. (1996): Análisis de alternativas de inversión en la Industria Química considerando la fiabilidad de los equipos, Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas UCLV. Cuba.
7. Dobge, B (1975): Chemical Engineering Thermodynamics. Edición Revolucionaria.
8. Bennett and Franklin (1986): Statistical analysis in chemistry and the chemical industry, Wiley and Sons New York.
9. Grady, C. (1973): Manual de servicio de instrumentación industrial, Tomo 1, Instituto cubano del libro. La Habana.
10. Emirdshanov, R. (1985): Ejemplos y problemas para la tecnología de refinación del petróleo y el gas. Editorial MIR. Moscú.
11. Erij, V. (1985): Química y tecnología del petróleo y del gas. Editorial Mir Moscú.
12. Eskel, C. (1990): Tratamiento de agua para la Industria y otros usos, Tomo I, II.
13. Extremadura (2007): Proyecto para la instalación de una refinería de Petróleo en Extremadura. <http://www.grupoag.es/refineriabalboa/medioambiente/pdf/vertidos.pdf>
14. Decreto ley No 170 (2002): Sistema de medidas de la defensa civil EMNDC.
15. Desechos (2006): Guía para el manejo de desechos de Refinerías de Petróleo. <http://www.minem.gob.pe/archivos/dgaee/legislacion/guias/guiamanejodesechos.PDF>
16. Diaz, R. (1987): Tratamiento de aguas y aguas residuales.
17. Folleto (1987): Procedimiento para la operación de la Planta de Aceites Básicos.
18. García, R. (1986): Diccionario Técnico Inglés-Español. Edición Revolucionaria.

19. Gil, B. (1999): Fuel oil. Almacenamiento, combustión y contaminación atmosférica, págs. 42 – 47.
20. González, A (2000): Evaluación de los riesgos laborales. Mapfre Seguridad, 79:3-19.
21. Harben, P. (1998) The industrial handbook: a guide to markets, specification and price. London editorial.
22. Historia del Centro (1990): Empresa Refinadora de Petróleo de Cabaiguán.
23. Informe (2002): Informe sobre el estudio de los impactos ambientales producidos por la refinería Sergio Soto de Cabaiguán. Tema 124, República de Cuba. Ministerio de la Industria Básica, E. de Geología Santa Clara.
24. Instructivo A 701 (2005): Principios para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales de refinerías de petróleo; reglas técnicas con respecto a la gestión de aguas residuales y desechos, instructivo A 701.
<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=64003&indexSearch=ID>
25. Keenan, J. (1988): Thermodynamic Properties of water including vapor, liquid and solid phases. (SI UNITS), Edición Revolucionaria.
26. Kern, D. (1979): Procesos de transferencia de calor. Edición Revolucionaria
27. Maxwell, D. (1978): Data Book on hidrocarbons, D.Van Nostrand Company Inc., Toronto – New York- London.
28. Marrero, M. (1989): Sobre la exploración y producción de petróleo en Cuba.
<http://www.olade.org.ec>
29. NC 18001:2004: Seguridad y salud en el trabajo, Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo, Requisitos.
30. NC 41.07 : Determinación del contenido de humedad y pH.
31. NC 27:1999. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. especificaciones.
32. ONUDI (1988): Formulación y evaluación de proyectos ambientales compatibles.
33. Ocon, J. (1980): Elementos de ingeniería química. Editorial Pueblo y Educación.
34. Ostle, B. (1980): Estadística aplicada. Editorial Científico Técnica.

35. Pavlov, K. (1981): Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química. Editorial Mir, Moscú.
36. Ulrich, G. (1986): Diseño y economía de los procesos de Ingeniería Química, Nueva editorial interamericana S.A. México.
37. Perry, J. (1984): Chemical engineering Hand book. Edición Revolucionaria. Tomo 1. La Habana.
38. Peter, M.(1970): Plant and Design and Economics for Chemical Engineers, La Habana, Instituto del libro, Segunda Edición
39. Peters, M.(1991): Plant and Design and Economics for Chemical Engineers, McGraw – Hill, Inc. 4th Edition
40. Instrucción (1986): Refinería “Sergio Soto”, Instrucción para el puesto de trabajo. Análisis químico del petróleo y químico analista.
41. Ranking, S. (1979): Propiedades termodinámicas de los gases. Editorial MIR. Moscú, Tercera edición, tablas y gráficas.
42. Piórishkin, V. (1986): Física 1.Editorial Mir Moscú.
43. Tratamiento de aguas residuales (2008): Tratamiento de aguas residuales. http://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas_residuales
44. Verde, R. (1981): Principio de la refinación de petróleo. Editorial Orbe.
45. Verde, R. (1982): Tecnología moderna del petróleo en Cuba. Editorial Científico Técnico 1982.
46. Vega, O. (1989): Ingeniería Económica, Instituto francés de Química Tomo I, II, III.
47. WPT (2008): Plantas de tratamiento de aguas residuales. <http://www.aguayaire.com/WPT.pdf>