

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Química y Farmacia
Centro de Estudio de Química Aplicada



Tesis Presentada en Opción al Grado de Máster en
Seguridad Tecnológica y Ambiental en Procesos Químicos

**Tesis Presentada en Opción al Grado de Máster en
Seguridad Tecnológica y Ambiental en Procesos Químicos**

Título: "Propuesta de tratamiento para los residuales generados en la Planta de Aceites Básicos de la Refinería Sergio Soto"

Autor: Ing. Yenisleys Duarte Álvarez

*Tutores: Dra. Petra G. Velazco Pedroso
Dr. Guillermo Esperanza Pérez*

2014
Año 56 de la Revolución
2014
Año 56 de la Revolución



“El futuro está en las grandes innovaciones técnicas, que constantemente van cambiando el aspecto del mundo. El futuro está en el desarrollo de la química, de manera de asegurar las grandes producciones en masa al alcance de todo el mundo.”

Ernesto Che Guevara.

A handwritten signature in cursive script, appearing to read 'che'.

Dedicatoria

*Especialmente a mis padres a quienes con tanto esfuerzo y
cariño se han preocupado y me han apoyado a lo largo de
toda mi vida.*

*A mi hija Isis Brianna a quien adoro y para que le sirva de
guía y ejemplo toda su vida.*

A mi hermano Dariel.

A Ernesto.

Agradecimientos

*Primeramente a mis tutores por su colaboración y ayuda.
A mis padres y familiares por apoyarme y darme seguridad a
la hora de tomar mis decisiones.*

*A Lili quien me brindó su ayuda incondicional en todo
momento.*

*A los compañeros del Laboratorio de la Refinería donde hice
todos los experimentos necesarios y en especial a Magalis.*

*A los que en una época fueron mis compañeros de trabajo,
Guille quien me brindó tanta información, Mijail por ser tan
comprensivo y confiar en mí.*

*A Humbertico por molestarlo tanto y quitarle su tiempo de
juego en la PC.*

*A mis compañeras Neyo, La China, Estelia y Niurka que
son pocas las palabras para agradecerles por su ayuda.*

A mis amigas de siempre Yadira, Jenni, Keidy y Daisy.

*En fin a todas las personas que de una forma u otra
contribuyeron con la realización de este trabajo.*

A todos:

Muchas Gracias

Resumen

En el trabajo se propone el diseño tecnológico de un sistema para el tratamiento de las aguas oleosas, para los residuales sólidos, producto de dicho tratamiento, así como, para las emisiones gaseosas generadas en la planta de Aceites Básicos de la Refinería de Cabaiguán.

Se propone un tratamiento químico físico, mediante coagulación flotación con aire inducido utilizando alúmina y un desaceitador para separar los sólidos que quedan suspendidos. El agua recibe un tratamiento final a través de una membrana de ultrafiltración para ser reutilizada de nuevo en el proceso y a los residuos sólidos se les realizan una serie de ensayos que demuestran que pueden ser mezclados con el asfalto para su disposición final. Para los gases emitidos se propone un tratamiento mediante el uso de biorreactores.

Se realiza una valoración técnico-económica y ambiental del sistema de tratamiento propuesto a partir de un estimado de los costos de adquisición de los equipos calculándose los costos directos e indirectos como los totales con la recuperación de la inversión en un periodo menor de 2 años.

Se demuestra que con la implementación de esta tecnología se logra la eliminación de los residuos sólidos al ser utilizados en la producción de asfalto, el aprovechamiento completo del agua al ser reutilizada en el proceso, es decir, un tratamiento con vertimiento mínimo y la reducción o eliminación del impacto negativo producido a la salud y al medio ambiente.

Abstract

At work is proposed the technological design of a system for the treatment of oily water to the solid waste product of such treatment, as well as for gaseous emissions at Plant Oil Refinery Basic Cabaiguán is proposed.

A physical chemical treatment is proposed, by coagulation induced air flotation and oiling using alumina to separate the solids which are suspended. The water receives a final treatment through an ultra-filtration membrane to be reused again in the process and the solid residue was performed a series of tests to prove they can be mixed with asphalt for disposal. For gases produced proposed treatment using bioreactors. A technical- economic and environmental assessment of the proposed from an estimated acquisition cost of equipment calculated the direct and indirect costs and the total return on investment in a shorter period of 2 years treatment system is performed. It shows that with the implementation of this technology removing solids to be used in asphalt production residues is accomplished, the full use of water to be reused in the process, it means, treatment with minim shedding and reduction or elimination of the negative impact caused to health and the environment.

Abreviaturas	1
Introducción	2
Capítulo I. Revisión Bibliográfica.	
1.1. El Petróleo.	6
1.2. Aceites Básicos. Generalidades.	6
1.3. Proceso de Obtención y Purificación de los Aceites Básicos.	7
1.3.1.1. Clasificación del Crudo.	8
1.3.1.2 Influencia del tipo de crudo en las Características de los Aceites.	9
1.3.2. Métodos de Purificación.	9
1.4. Reseña histórica de la Refinería Sergio Soto de Cabaiguán.	10
1.5. La Industria Petroquímica y el Medioambiente.	11
1.5.1. El Agua.	11
1.5.2. Aguas Residuales.	12
1.5.2.1. Tratamiento de Residuales.	12
1.5.3. Aguas Negras (residuos de petróleo).	16
1.5.3.1. Depuración de Aguas Residuales Aceitosas.	17
1.6. Contaminación del Aire.	20
1.6.1. Métodos de Control para Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles.	21
1.6.1.1. Características de los Biofiltros.	23
1.6.1.2. Ventajas y Desventajas de los Biofiltros.	25
1.6.1.3. Microorganismos Empleados en la Biorremediación.	26
Conclusiones Parciales.	27
Capítulo II. Fundamentos Tecnológicos.	
2.1. Descripción del Proceso Tecnológico.	28
2.2. Pretratamiento de los Residuales Líquidos.	30
2.3. Propuesta de Tratamiento para los Residuales Líquidos.	33
2.4. Balances de Masas.	35
2.5. Aprovechamiento y Recirculación de los Residuales en la Planta de Tratamiento Prevista.	38
2.6. Destino Final de la Porción Oleosa.	39
2.6.1. Balance de Masa en la Etapa de Secado.	40
2.7. Identificación y Valoración de los Impactos Ambientales Generados en la Entidad.	41
Conclusiones Parciales.	44
Capítulo III. Diseño y análisis económico.	
3.1. Diseño de los Tanques de Neutralizador 1 y Neutralizador 2.	45
3.2. Diseño del Desaceitador.	46
3.3. Selección del Módulo de Membrana.	47
3.4. Diseño del Tanque para la Eliminación de la Humedad de los Residuos Sólidos.	48
3.5. Sistema de Tubería y Bombeo.	50
3.5.1. Cálculo de las Bombas.	51
3.6. Propuesta de Tratamiento para los Gases Contaminantes Generados en la Planta de Aceites Básicos.	52
3.6.1. Selección del Equipamiento para los Gases Contaminantes Generados en la Planta de Aceites Básicos.	53

3.7. Evaluación de los Impactos Ambientales después de la Implementación de la Planta para Tratamiento de los Residuales.	55
3.8. Costo de Equipamiento e Inversión.	57
3.8.2. Cálculo de los Costos Directos, Indirectos y Totales.	59
3.8.3 Externalidades.	61
3.8.5. Cálculo de los indicadores económicos de rentabilidad VAN, TIR, PRD.	62
3.9. Análisis de Sensibilidad.	64
Conclusiones Parciales.	67
Conclusiones Generales.	68
Recomendaciones.	69
Bibliografía.	70
Anexos.	

Introducción

En los últimos años la preocupación por la degradación ambiental ha aumentado a nivel mundial, pues sus consecuencias pueden determinar graves resultados en el bienestar humano y el desarrollo económico de las naciones.

Los estilos de desarrollo que han predominado en el planeta se han caracterizado por el propósito de alcanzar la máxima garantía económica sin considerar las reservas energéticas mundiales, ni los límites de generación de los recursos y la conservación de los ecosistemas. La actividad de servicios es uno de los pilares fundamentales del desarrollo económico, sin embargo, los residuos generados y el excesivo consumo de recursos naturales, pueden constituirse en agentes de deterioro del medio ambiente, restando sustentabilidad al crecimiento económico. Como consecuencia de ello, la dimensión ambiental ha adquirido mayor importancia en el diseño de procesos, en la toma de decisiones de inversión y en la gestión productiva.

El cuidado del medio ambiente es una necesidad en nuestros días, la contaminación de este constituye uno de los problemas más críticos en el mundo y es por ello que ha surgido la necesidad de la toma de conciencia y la búsqueda de alternativas para su solución.

De ahí que ante la crisis ambiental de la Tierra, hoy más que nunca se impone agregar el cuidado de nuestro entorno. En todo el mundo surgen iniciativas alentadoras para hacer frente a la crisis medioambiental, algunas a pequeña escala y otras a mayor escala.

Una notable y muy positiva reacción en este sentido se produjo en la segunda mitad del siglo XX, extendiéndose al presente siglo; el convencimiento de que la tierra, nuestro hermoso planeta se daña por día y que es imprescindible defenderlo a toda costa, para el bien de las generaciones presentes y futuras.

Esto se pone de manifiesto en las cumbres de la tierra, en los cientos de movimientos ecologistas que han surgido en todo el planeta, entre los que se pueden destacar: Amigos de la Tierra, Fondo Mundial por la Naturaleza, Greenpeace, entre otros.

Conjuntamente a las organizaciones internacionales y nacionales se han creado numerosas organizaciones sociales, civiles, religiosas y juveniles para combatir por la causa ecologista.

Por su parte gobiernos de distintos países del mundo no se han quedado detrás en este esfuerzo y han creado ministerios para preservar el medio ambiente. En Cuba tenemos el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente y su Agencia del Medio Ambiente, con una relevante labor.

En nuestro país debemos destacar también el hecho de la constitución de las Comisiones Provinciales de Medio Ambiente, así como en los municipios; las maestrías y cursos de postgrado y talleres orientadas en este sentido, impartidas por nuestras universidades.

A partir de 1992, en que se celebra la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo o Cumbre de Río, también llamada Cumbre de la Tierra, es aprobada la denominada Agenda 21, la cual contiene un plan de acción internacional para la protección del medio ambiente y los recursos naturales, en Cuba ha existido un creciente interés por acatar los acuerdos de este encuentro.

Así nace en nuestro país de manera oficial la Estrategia Ambiental Nacional la cual tiene como objetivo indicar las vías idóneas para preservar y desarrollar los logros ambientales alcanzados por la revolución, subsanar los errores e insuficiencias detectados e indicar los principales problemas ambientales, sentando las bases para un trabajo futuro, con vistas a alcanzar un desarrollo económico y social sostenible.

Con la aprobación y establecimiento de la Ley No. 81/97 del Medio Ambiente, la Estrategia Ambiental Nacional trazada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), se vio fortalecida.

En la lucha por el cumplimiento de la ley, en aras de la preservación del medio ambiente se están insertando las empresas cubanas en estos momentos. Aunque todavía existen personas e instituciones en Cuba que no tienen un nivel de concientización, información y conocimiento suficiente para resolver los problemas ambientales a los cuales deben enfrentarse, sin contar los problemas económicos a los

que se ven sometidos y que limitan en muchos casos las medidas a tomar según corresponde en esta labor.

No obstante a estos problemas, las organizaciones se orientan cada vez más y con mayor rigor para lograr controlar el impacto de sus actividades, productos o servicios sobre el medio ambiente. En esta lucha se encuentra inmerso por ser una de las industrias altamente contaminante debido a los grandes volúmenes de hidrocarburos que se manejan y productos que se generan a partir de estos, la refinería de petróleo “Sergio Soto” de la UNION CUPET situada en el municipio de Cabaiguán, provincia de Sancti Spíritus donde se encuentra la Planta de Aceites Básicos es un ejemplo de ello.

Esta 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 tres tipos de aceites: AC-112, componente Sigatoca, así como Aceite Dieléctrico para Transformadores de hasta 13 KVA, además de la distribución mayorista y minoristas de los combustibles, Lubricantes y Gases Licuados del Petróleo, lo que la diferencia del resto del país.

La producción de Aceites Básicos a partir de los crudos nacionales y teniendo en cuenta el alto precio del petróleo a nivel internacional constituye un gran esfuerzo del país con el fin de sustituir importaciones, aspecto de vital importancia para la Economía Nacional

En la planta de Aceites Básicos única de su tipo en el país, se utiliza, como materia prima el corte lateral DR-3 del crudo procedente de Pina, Majagua, en ella durante el proceso de producción y refinación para la obtención del aceite se generan grandes volúmenes de residuales líquidos y gaseosos que son altamente contaminantes. Estos residuales líquidos se caracterizan por un color oscuro muy intenso y por un fuerte olor a hidrocarburos además de contener aceites y grasas.

Problema Científico: El funcionamiento y producción de la planta de Aceites Básicos se está viendo limitada por la acumulación de grandes volúmenes de residuales líquidos compuesto fundamentalmente por hidrocarburos aceites y grasas, sustancias tóxicas y peligrosas, que junto a las emisiones gaseosas provocan serios efectos

negativos para la salud del hombre y el medio ambiente y no se dispone de un sistema de tratamiento adecuado para los mismos.

Hipótesis: Si se dispone de una tecnología de tratamiento viable desde el punto de vista técnico, económico y ambiental de los efluentes líquidos y gaseosos que se generan en la planta de Aceites Básicos de la Refinería Sergio Soto se podrá minimizar o eliminar el efecto negativo que las mismas producen al hombre y al medio ambiente.

Objetivo General: Diseñar un sistema de tratamiento para la remoción de las sustancias contaminantes presentes en las aguas residuales oleosas y proponer una alternativa para el tratamiento de las emisiones gaseosas producidas en 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. Realizar un estudio sobre el impacto ambiental antes y después de la implantación del sistema propuesto.
4. Proponer una alternativa de tratamiento para minimizar el efecto producido por los gases contaminantes emitidos al medio ambiente.
5. Evaluar la factibilidad económica y ambiental del sistema de tratamiento propuesto.

Revisión Bibliográfica

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 un mineral combustible líquido difundido en la envoltura sedimentaria de la tierra. Proviene del latín petroleous, que a su vez se deriva de las voces latinas petra (piedra) y oleous, aceite. El Petróleo es una mezcla compleja de hidrocarburos líquidos, compuesto en mayor medida de carbono e hidrógeno, con pequeñas cantidades de nitrógeno, oxígeno y azufre.

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. En las refinerías modernas se aplican avanzadas técnicas de ingeniería química para refinar el crudo y obtener una amplia variedad de productos terminados aptos para su utilización. Los procesos encaminados a la refinación del crudo se seleccionan, acoplan e interrelacionan de acuerdo con el mercado que sirve la empresa y los productos que esta habrá de manufacturar. Las operaciones de proceso en toda refinería moderna, se alteran o modifican según sea necesario para mantener el balance de producción adecuado. **(Verde, R. 1982)**

1.2. Aceites Básicos. Generalidades.

Los aceites básicos son productos derivados del petróleo obtenidos por destilación atmosférica y al vacío con distinta viscosidad y grado de purificación. Están constituidos por una mezcla compleja de hidrocarburos en diferentes proporciones según el crudo de procedencia. Según el tipo de hidrocarburo predominante se clasifican en:

- Aceites de base parafínica.
- Aceites de base nafténicos.

- Aceites de base mezcla o mixto: cuando las bases anteriores se encuentran en proporciones más o menos parejas.

En la composición de estos aceites aparecen también, constituyendo impurezas, otras familias orgánicas no hidrocarbonadas en pequeños porcentajes e hidrocarburos afectados con átomos de azufre y oxígeno. Los aceites minerales tienen diferentes aplicaciones, como lubricantes previniendo el desgaste de las partes móviles de equipos, aislantes en los transformadores eléctricos, refrigerantes, etc. Los aceites básicos generalmente no se utilizan directamente, estos se mezclan en diferentes proporciones en dependencia de la función para la cual este destinado. Además, con el fin de mejorar las propiedades de la mezcla en sus aplicaciones específicas, en la mayoría de los casos se añaden algunos productos químicos conocidos como inhibidores y aditivos. **(Kraus, R. 2001)**

1.3. Proceso de Obtención y Purificación de los Aceites Básicos.

1.3.1. Etapas para la obtención del los Aceites Básicos.

Los aceites minerales proceden, y son elaborados a partir del petróleo después de múltiples procesos en las plantas de producción o refinerías.

Como se observa en la Figura 1.1 el primer paso en la producción de aceites básicos es la obtención de las fracciones de petróleo, que posteriormente se someten a un proceso de purificación.

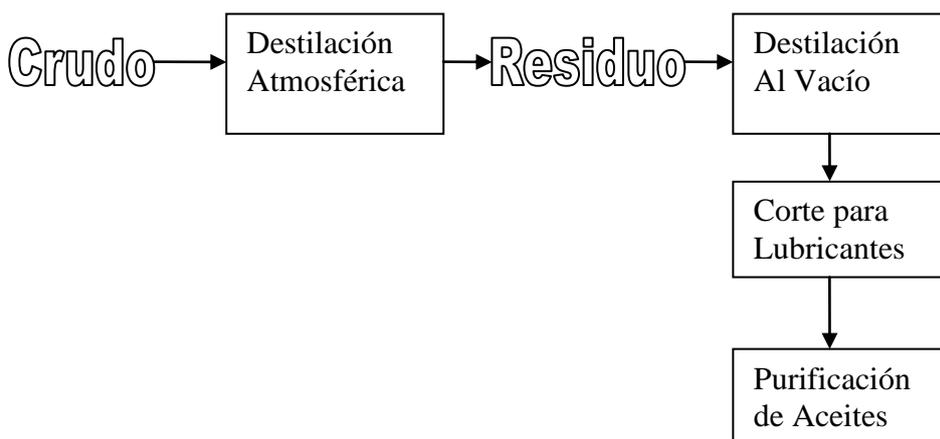


Figura 1.1. Esquema de las etapas para la obtención de aceites básicos.

La refinación de petróleo comienza con la destilación, donde el crudo calentado se separa físicamente en distintas fracciones de destilación directa, diferenciadas por sus puntos de ebullición. En una unidad de destilación de crudo en dos fases, la torre atmosférica, que produce fracciones y destilado ligeros, va seguida inmediatamente de una torre de destilación al vacío que procesa los productos residuales atmosféricos.

Después de la destilación, solo unos pocos productos son adecuados para utilizarlos sin necesidad de tratamiento previo.

Entre las fracciones con puntos de ebullición intermedio y alto que se extraen de la torre de destilación al vacío está el destinado a la producción de aceites básicos. Este debe ser posteriormente sometido a un proceso de refinación, donde se logra que tenga las características físico-químicas adecuadas según el uso para el cual está destinado. Tanto el tratamiento de purificación como las características del producto final están condicionados por las propiedades del crudo de partida **(Pérez, B.2005)** por lo que a continuación se presentan las formas de clasificar el crudo y la influencia del tipo de crudo en las características del aceite.

1.3.1.1. Clasificación del Crudo.

Las características del crudo que se inyecta en la refinería determinan las condiciones del refino e influyen de una manera decisiva en las propiedades físicas y químicas de los productos del petróleo obtenidos. A su vez el proceso de purificación aplicado a las fracciones aceitosas depende de la naturaleza, nafténica, parafínica o mixta, de las fracciones a procesar. **(Erij, V. 1988)**

Crudos de base parafínica: Su componente principal son las parafinas y su contenido de material asfáltico es bajo. Haciendo una amplia generalización se puede decir que los crudo de base parafínica son buena fuente de cera parafínica, queroseno, gas oil y lubricantes de buena calidad.

Crudos de base asfáltica: Predominan los hidrocarburos nafténicos y aromáticos, son viscosos y de coloración oscura. Debido a que el contenido de parafinas es bajo no requieren desparafinado en su proceso de refinación. Las fracciones ligeras e intermedias de estos crudos son adecuadas para producir gasolina de alta calidad, aceites lubricantes y asfalto.

Crudos de base mixta: Contienen cantidades considerables de los hidrocarburos

parafínicos y nafténicos, junto con cierta proporción de hidrocarburos aromáticos. Sus características son intermedias entre las de los crudos de base parafínica y asfáltica. **(Kraus, R. 2001)**

1.3.1.2. Influencia del tipo de crudo en las Características de los Aceites.

Los aceites de base parafínica son más estables que los nafténicos y los aromáticos, en cuanto a su descomposición química por efecto del calor, el oxígeno y otros agentes. Los compuestos poli-aromáticos son indeseables en las fracciones de aceites lubricantes por su tendencia a la deposición de lodos y su bajo índice de viscosidad, sin embargo, hay ciertos tipos de aromáticos que deben ser retenidos, pues promueven la resistencia a la oxidación.

Las bases nafténicas tienen la ventaja de contar con un bajo punto de fluidez lo que convierte a los aceites derivados de las mismas en los más adecuados para el uso a bajas temperaturas. La conveniencia de utilizar un base de una naturaleza u otra depende de las características del producto final que se quiere obtener, pero en la mayoría de los casos se debe adaptar el proceso al tipo de crudo inyectado con el que cuenta la refinería el cual varía según el yacimiento de donde proviene. En Cuba, los crudos que se extraen son nafténicos o naftenos aromáticos, por lo tanto, no es necesario someterlos a un proceso de desparafinación. Este sí es necesario cuando se procesan crudos parafínicos, ya que la parafina aumenta grandemente la tendencia de los aceites a formar depósitos gomosos y carbonosos. **(Bogomolov, I. 1985)**

1.3.2. Métodos de Purificación.

Al inicio se producían los aceites a partir de fracciones obtenidas de la destilación atmosférica solamente, pero al desarrollarse la destilación al vacío se comenzó a producir aceites altamente viscosos para la lubricación. En ese momento el único método de purificación conocido era el tratamiento con ácido sulfúrico y la posterior neutralización del mismo mediante soluciones alcalinas **(Kraus, R. 2001)**. Este método presenta la desventaja de que viene acompañado de considerables pérdidas de producto que se someten a la polimerización o se disuelven en el ácido, así como, la formación de alquitranes ácidos (gudrón) que son residuos difíciles de utilizar debido a su carácter contaminante. Hoy día existen diferentes métodos de purificación de los aceites básicos los cuales son de carácter físico y químico, cuyo principal objetivo es eliminar los productos sin

valor como: asfaltos, aromáticos sulfonados y ceras parafínicas e isoparafínicas para producir lubricantes de alta calidad. Esto se logra con la utilización de productos químicos como el ácido sulfúrico, el cloruro de aluminio, la alúmina y la sílica; por extracción con solventes selectivos como el furfural o fenol y la adsorción con tierras arcillosas. También se aplican procesos de hidrogenación a los aceites minerales para transformar los hidrocarburos insaturados en saturados **(López, S. 2009)**. A pesar de ser el método más antiguo, la purificación con ácido sulfúrico sigue manteniendo su vigencia en varios países del mundo entre los que se incluye Cuba.

1.4. 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. 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 1^o. 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 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, y quero 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, siendo esto de gran importancia económica en los momentos actuales en los que

se atraviesa por una crisis energética debido a la escasez de recursos naturales que brindan energía. **(Historia del Centro. 1990)**

1.5. La Industria Petroquímica y el Medioambiente.

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. 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. Estas 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. **(Sarfaraz, M.2012)**

1.5.1. 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 consta en el primer informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, *Agua para todos, agua para la vida*. 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. **(Díaz, R. 1987)**

1.5.2. Aguas Residuales.

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. 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. **(Ramírez, C. 1992)** Una disposición impropia de las aguas residuales, puede resultar en una contaminación de las aguas superficiales, las aguas subterráneas y los suelos provocando problemas de salud que en el mundo entero afectan a casi todo lo vivo. En resumen, una buena recolección de las aguas residuales, con su tratamiento y la disposición final nos permite una educación más efectiva, un aumento de la productividad, y una elevación del nivel de vida y su calidad. Las características de las aguas residuales industriales pueden diferir mucho entre las empresas. 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 (que no son mutuamente excluyentes) para controlar los vertidos industriales. El control puede tener lugar allí donde se generan dentro de la planta, las aguas pueden tratarse previamente y 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. **(Domínguez, E. 1996)**

1.5.2.1. Tratamiento de Residuales

El conjunto de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos a que se someten las aguas residuales de diferentes orígenes para la remoción de contaminantes seleccionados, y el cumplimiento de parámetros de vertimiento o reuso; evitándose afectar patrones higiénicos, estéticos y económicos. **(Yang, Y J. 2011)**

Finalidad y objetivos de un sistema de tratamiento.

Los objetivos fundamentales de un sistema de tratamiento de residuales son:

- Separar o descomponer la materia orgánica de manera que el producto final del proceso no permita el desarrollo de microorganismos heterótrofos.
- Destruir los microorganismos patógenos.
- Reducir hasta niveles permisibles (o aceptables) las sustancias o elementos tóxicos o peligrosos contenidos en los mismos. **(Celma, J. 1990)**

Existen tres tipos fundamentales de métodos que, con frecuencia, se pueden llevar a cabo sobre los residuos tóxicos y peligrosos para reducir su concentración (o lograr su minimización) en las corrientes de aguas residuales y garantizar el vertimiento de las mismas según los estándares establecidos, dependiendo su aplicación de las características y propiedades específicas de cada tipo de sustancia contaminante.

Métodos físicos: los métodos físicos se utilizan principalmente en el tratamiento primario, aunque algunas veces tales técnicas pueden usarse como complemento a los métodos químicos y biológicos de la etapa secundaria; generalmente estos métodos tienen como finalidad:

- Separar el residuo a tratar de aquellos componentes que se encuentren en fases diferentes, atendiendo básicamente a su estado de agregación y al tamaño de sus partículas, p.e: sólidos suspendidos (gruesos, medios o finos), partículas coloidales (menores de 1 micra) y sustancias disueltas.
- Separación de componentes: por absorción, intercambio iónico, extracción mediante fluidos supercríticos, ósmosis inversa, ultrafiltración, o electrodiálisis.

Métodos químicos: el tratamiento mediante procesos químicos consiste en alterar la naturaleza química de los residuos, mediante el uso de una o varias reacciones químicas, convirtiendo el componente tóxico y/o peligroso en otra u otras sustancias que no son tóxicas (o al menos de menor toxicidad) para las personas y el medio ambiente, o bien permiten su reutilización en algún proceso industrial. Entre los principales métodos de este tipo están:

- **Neutralización:** reacción entre un ácido o una base con el residuo peligroso para ajustar el pH de la solución hasta niveles cercanos al neutro.

- **Precipitación:** transformación de un contaminante disuelto en un sólido poco soluble, facilitando así su posterior eliminación por filtración o sedimentación.
- **Reducción:** es aplicable generalmente a residuos líquidos en los cuales se encuentran presentes compuestos orgánicos e inorgánicos. En calidad de reductores se usan compuestos como el NaHSO_3 , Na_2SO_3 y otros compuestos de Fe^{2+} , etc.
- **Oxidación:** se utiliza para el tratamiento de contaminantes orgánicos e inorgánicos en disolución acuosa. Los oxidantes más utilizados son: cloro gaseoso, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, ozono, peróxido de hidrógeno, yodo, permanganato de potasio, oxígeno, y dióxido de cloro (**Metcalfe, & Eddy, 2004**). Este proceso se usa ampliamente para tratar cianuros, fenoles, compuestos orgánicos de azufre, posibles hidrocarburos clorados, detergentes, hidrocarburos aromáticos y biocidas, en soluciones acuosas y en bajas concentraciones.

Tratamientos con agentes oxidantes: Los métodos de tratamiento que utilizan agentes oxidantes fuertes son los más populares y extendidos entre los métodos de desinfección y tratamiento de aguas residuales, tanto albañales como las contaminadas con RTP. El problema esencial está en la prioridad de selección de un oxidante particular para la eliminación de los contaminantes tóxicos del agua. Se requiere considerar no solamente el potencial redox de un oxidante, sino también otros factores los cuales pueden influir sustancialmente sobre la eficiencia del tratamiento, como por ejemplo: el grado y el tipo de contaminación química del agua, la composición del agua (dulce o salada), la presencia de sustancias naturales, las cuales pueden ser oxidadas, el índice de pH, (**Ramírez, C. 1992**)

Ozonólisis: El tratamiento con ozono en medio alcalino es considerado un método avanzado de oxidación, presentando numerosas ventajas y aplicaciones para el tratamiento de las aguas en comparación con otros empleados para este mismo fin. 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. (**Bennett and Franklin. 1986**).

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. Está ampliamente aceptado que la destrucción de las bacterias por ozonización se produce directamente debido a la desintegración de la pared celular (lisis celular). El ozono también es un virucida muy efectivo, y ha sido demostrado que su efectividad es muy superior a la del cloro. La ozonización no produce sólidos disueltos ni se ve afectada por la presencia del ion amonio, ni por la variación significativa del pH del agua que entra en el proceso de desinfección. **(Aharon, N. 2005)**. La limitante básica de este método radica en el factor económico: elevados costos de inversión y costos operacionales relativamente altos, derivados del consumo de energía eléctrica restringen su diversificación en muchas esferas de la economía.

Desinfección y oxidación con radiación ultravioleta (UV): La radiación ultravioleta constituye un agente físico de tratamiento eficiente, pero no es efectivo para aguas residuales que presenten altas concentraciones de sólidos. Se ha podido comprobar que una correcta dosificación de rayos ultravioletas es un potente bactericida y virucida, además de no contribuir a la formación de compuestos tóxicos. La combinación del uso de luz ultravioleta de alta energía (230-290 nm) conjuntamente con peróxido de hidrógeno (UV/H₂O₂), y ozono (UV/O₃), la reacción de Fenton, o la fotocatalisis solar heterogénea con dióxido de Titanio, son métodos actuales que se encuentran en la fase de estudios e implementación a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con residuos tóxicos y peligrosos, demostrando una elevada eficiencia en la remoción de los mismos **(Water science and technology 2003)**.

Entre los compuestos más investigados están los fenoles, decenas de pesticidas, compuestos órgano clorados, compuestos orgánicos volátiles, residuos de la industria de la madera, y de la industria farmacéutica **(Hoffmann, M.1996)**. Este grupo de nuevas tecnologías se perfilan mundialmente como alternativas prometedoras para el tratamiento de un amplio número de compuestos orgánicos contaminantes tanto en fase líquida como gaseosa.

Métodos biológicos: Los métodos de tratamiento biológico sirven para remover (convertir a biomásas y subproductos) la carga orgánica biodegradable (esto es, que puede ser metabolizada como sustrato o alimento) para los microorganismos. Esta conversión se efectúa mediante el empleo de cultivos de microorganismos que usualmente están bien adaptados al agua residual en particular. Generalmente, hay que efectuar antes algunos pretratamientos al agua residual, para eliminar sustancias tóxicas, e inhibidoras del crecimiento microbiano. **(Higa, L. 2004)** Existen 5 grupos principales de tratamientos biológicos aplicados al tratamiento de aguas residuales: procesos aerobios, procesos anaerobios, procesos anóxicos, procesos aerobios-anaerobios y anóxicos combinados, y los procesos de lagunaje.

Los procesos individuales se pueden dividir, a su vez, dependiendo de la forma en que el tratamiento se lleva a cabo en: sistemas de cultivo en suspensión, en sistemas de cultivo fijo, o en sistemas resultantes de la combinación de ambos. Se reporta que cultivos puros de pseudomonas obtenidos por métodos biotecnológicos son capaces de remover de los residuales gran variedad de hidrocarburos aromáticos, incluidos algunos tipos de nitrocompuestos.

En la patente PCT.Int, Appl.WO 970927A1 13 mar 1997 y patente: EPO 714894, A1 960605, es propuesto un método y un sistema para el tratamiento de residuos orgánicos peligrosos. El sistema incluye un biorreactor conteniendo bacterias seleccionadas. Los procesos de biodegradación iniciados continuamente convierten los constituyentes orgánicos peligrosos en residuos corrientes y los lodos de las aguas residuales de las plantas en materias inertes. **(Metcalf, & Eddy, 2004)**

1.5. 3. Aguas Negras (residuos de petróleo).

Las fuentes de tratamiento de las aguas residuales aceitosas son muy amplia, ya sea por la refinación de petróleo, almacenamiento de petróleo, y sus productos, la transportación de ellos o sea las industrias petroquímicas en general, en el proceso de producción generan gran cantidad de aguas residuales

aceitosas La contaminación de aguas residuales oleosas se manifiesta principalmente en los siguientes aspectos: **(Ahmed, A .2007)**

- Afectan a los recursos de agua potable y de aguas subterráneas, poniendo en peligro los recursos acuáticos.
- La salud humana.
- La contaminación atmosférica.
- La producción de cultivos que afecta y destruye el paisaje natural.

1.5.3.1. Depuración de Aguas Residuales Aceitosas.

Los métodos convencionales para la depuración de las aguas residuales aceitosas más utilizados son:

Flotación-Coagulación: Una alternativa a la sedimentación, utilizada en el tratamiento de algunas aguas residuales, es la flotación- coagulación, 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 el la ascensión de las burbujas de aire hace que los sólidos en suspensión suban a la superficie, de donde son retirados. **(Moosai, R. 2003)**

La flotación-coagulación puede eliminar más de un 75% de los sólidos en suspensión.. Utilizando a su vez sustancias del tipo CAX y silicato de cinc que son capaces de coagular o remover hasta un 98% de la DQO **(Zhang, YQ. (2009)**

Separación con 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 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. 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, unos de los problema 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.(**Yang,YJ. 2011**)

Tipos de Membranas

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

- **Membranas microporosas:** Estructuras porosas con una estrecha distribución de tamaño de poros. Las membranas que se encuadran en este grupo tienen una de 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. (**Lin, A G. 2006**)

- **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 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. **(Cui, J Y. 2008)**

➤ **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 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. **(Song, C W. 2006)**

Tratamiento Biológico: El tratamiento biológico es el uso de metabolismo microbiano en los cuales los contaminantes orgánicos coloidales disueltos en el agua se convierten en sustancias inocuas y estables (**Kriipsalu, M. 2007**). Actualmente la tecnología más manejada y la más utilizada frecuentemente es el método del filtro biológico con lodo activado. Lodos activados en los tanques de aireación utiliza el vector de corriente actual como purificador de microorganismos, por adsorción, y se concentra en la superficie de lodos activado de los microorganismos para descomponer la materia orgánica. El método de biofiltro biológico el filtro está dentro, de modo que los microorganismos se unen al filtro, las aguas residuales de la parte superior descienden a través de la superficie del filtro durante la adsorción de contaminantes orgánicos y descomposición por microorganismos que serán destruidos.

1.6. Contaminación del 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. El material particulado se caracteriza, a su vez, por partículas suspendidas totales, partículas suspendidas menores a diez micras y partículas suspendidas con diámetro menor a 2.5 micras. Entre las diferentes fuentes de emisiones a la atmósfera podemos distinguir dos grandes tipos: las fuentes fijas y las móviles, las cuales se describen a continuación. (**Cárdenas, B. 2009**).

Fuentes Fijas:

Existen tres tipos de fuentes fijas generadoras de emisiones:

- **Fuentes puntuales:** Derivadas de la generación de energía eléctrica y de actividades industriales como son: la química, textil, alimentaria, maderera, metalúrgica, metálica, manufacturera y procesadora de productos vegetales y animales, entre otras. Las emisiones derivadas de la combustión utilizada para la generación de energía o vapor, dependen de la calidad de los combustibles y de la eficiencia de los quemadores, mantenimiento del equipo y de la presencia de equipo de control al final del proceso (filtros, precipitadores y lavadores, entre

otros). Los principales contaminantes asociados a la combustión son partículas (SO₂, NO_x, CO₂, CO e hidrocarburos). **(Muñoz, R. 2013):**

➤ **Fuentes de área:** Incluyen la generación de aquellas emisiones inherentes a actividades y procesos, tales como el consumo de solventes, limpieza de superficies y equipos, recubrimiento de superficies arquitectónicas, industriales, lavado en seco, artes gráficas, panaderías, distribución y almacenamiento de gas LP, principalmente. Esta fuente también incluye las emisiones de actividades como son: el tratamiento de aguas residuales, plantas de composteo, rellenos sanitarios, entre otros. En este tipo de emisión se encuentra un gran número de contaminantes, de muy variado nivel de impacto en la salud.

➤ **Fuentes naturales:** Se refiere a la generación de emisiones producidas por volcanes, océanos, plantas, suspensión de suelos, emisiones por digestión anaerobia y aerobia de sistemas naturales. En particular a todo aquello emitido por la vegetación y la actividad microbiana en suelos y océanos, que se les denomina emisiones biogénicas, cuyo papel es importante en la química de la troposfera al participar directamente en la formación de ozono. Las emisiones biogénicas incluyen óxido de nitrógeno, hidrocarburos no metanogénicos, metano, dióxido y monóxido de carbono y compuestos nitrogenados y azufrados.

➤ **Fuentes móviles:** *Ejemplos* de fuentes móviles son los aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, tractocamiones, autobuses, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinarias no fijas con motores de combustión y similares, que por su operación generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. **(Serrano, C. 2006)**

1.6.1. Métodos de Control para Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles.

Existen varios métodos por los que se puede controlar o eliminar la contaminación del aire entre ellos está:

- Métodos físico-químicos.
- Incineración u oxidación.
- Oxidación térmica.
- Oxidación catalítica.
- Absorción.

- Adsorción.
- Condensación.
- Biofiltración: se define como todo proceso biológico utilizado para el control o tratamiento de compuestos volátiles orgánicos e inorgánicos presentes en la fase gaseosa. En la biofiltración, los microorganismos son los responsables de la degradación biológica de los contaminantes volátiles contenidos en corrientes de aire residual. Durante el proceso de biofiltración el aire contaminado pasa a través de los macro poros del material filtrante. La degradación de los contaminantes ocurre previa transferencia del aire a un medio líquido en donde es utilizado como fuente de carbono y energía (compuestos orgánicos) o como fuente de energía (compuestos inorgánicos). La utilización implica producción de biomasa y la oxidación parcial o total del contaminante. A su vez, la biomasa, bajo ciertas condiciones sufre una oxidación por respiración endógena. De esta manera, los procesos de biofiltración dan lugar a una descomposición completa de los contaminantes, creando productos no peligrosos. **(Hayat, S. 2002)**

Estas tecnologías se basan en la degradación o transformación de los contaminantes en compuestos menos dañinos. En términos generales, la purificación biológica es un proceso en el cual los gases contaminados son tratados al entrar en contacto con un medio biológicamente activo. El límite de estos procesos es la biodegradabilidad de los contaminantes, en donde los compuestos biogénicos (generados por procesos biológicos) son fácilmente biodegradables, mientras que aquellos con estructuras químicas no naturales (xenobióticos) pueden ser más recalcitrantes. Los sistemas biológicos de tratamiento de aire, son considerados como tecnologías limpias (tecnologías verdes) con base en los siguientes aspectos:

- Requieren de menor uso intensivo en energía (menor impacto ambiental y costo de operación).
- No utilizan sustancias peligrosas para su operación.
- No requieren condiciones extremas de trabajo.
- Al igual que la oxidación térmica y la catalítica, el contaminante es destruido en lugar de sólo transferirse de fase. Los equipos empleados para la purificación biológica de gases pueden subdividirse en tres tipos: biofiltro de lecho fijo (BLF),

biofiltro de lecho escurrido (BLE) y biolavadores. Esta clasificación se basa en las condiciones en las que se encuentran los microorganismos en el sistema y del patrón de flujo de la fase líquida. En la tabla 1.1 se muestran la clasificación de los biofiltros en función de la fase líquida y biológica. (Cárdenas, B. 2009)

Tabla 1.1. Clasificación de los biofiltros en función de la fase líquida y biológica.

Tipo de Biofiltro	Fase Biológica	Fase Líquida
Biolavador	Dispersa	En movimiento
Biofiltro de lecho escurrido	Inmovilizada	En movimiento
Biofiltro de lecho fijo	Inmovilizada	Inmóvil

1.6.1.1. Características de los Biofiltros.

Biofiltros de Lecho Fijo (BLF): constan de un lecho empacado que se conoce como material filtrante y que puede ser sintético u orgánico, que sirve como soporte para los microorganismos y en el caso de los orgánicos como fuente de nutrientes para el crecimiento microbiano. Ejemplos de materiales filtrantes utilizados en este tipo de filtros son rocas porosas, tierra de diatomeas, perlita, tierra, trozos de maderas, residuos orgánicos tales como cáscaras de cacahuate, de arroz o de coco, fibra de caña de azúcar, entre otros. El principio de los biofiltros de lecho fijo consiste en hacer pasar la corriente gaseosa saturada de humedad que contiene al contaminante a través del lecho en donde los contaminantes son degradados por los microorganismos. Una característica importante de los BLF es la ausencia de la fase acuosa móvil que los hace convenientes para tratar contaminantes muy poco solubles en agua. Es importante mencionar que la huella física de los BLF es mayor con respecto a los otros tipos de biofiltros. Biofiltro de lecho escurrido (Li, Q X.2005)

Biofiltro de Lecho Escurrido (BLE): consiste de una columna empacada con un soporte inerte (usualmente de material cerámico o plástico) donde se desarrolla la biopelícula. A través del lecho se alimenta una corriente gaseosa que contiene al sustrato por biodegradar y una corriente líquida que es comúnmente reciclada a través del lecho y que tiene la función de aportar nutrientes esenciales a la

biopelícula, así como de remover los productos de degradación de los microorganismos. Estos sistemas se recomiendan para compuestos solubles en agua. Los BLE tienen similares ventajas que los biolavadores, ya que la recirculación del líquido facilita la eliminación de los productos de reacción así como un mayor control sobre el proceso biológico a través del control del pH y la composición del medio líquido. La operación de absorción y biodegradación del contaminante en los BLE se lleva a cabo en un solo reactor, lo cual los pone en ventaja sobre los biolavadores respecto a la huella física y la operación del mismo. Se ha reportado que en ambos sistemas el principal problema de operación es la solubilización del gas en la fase acuosa, aunque es menos crítico en los BLE.

Biolavador: a diferencia de los biofiltros, en los biolavadores el compuesto a degradar primero es absorbido en la fase líquida localizada en una torre de absorción llena de líquido. La operación consiste en hacer fluir el gas a contracorriente a través del líquido, donde los contaminantes y el O₂ son absorbidos. Posteriormente el líquido es alimentado a un reactor empacado de un material inerte cubierto de la película biológica encargada de degradar al contaminante. Los BL son los sistemas más adecuados para el tratamiento de compuestos muy solubles en agua. Las principales ventajas de los biolavadores son:

a) la recirculación del líquido que favorece la no acumulación de productos que pudieran tener efectos nocivos para los microorganismos.

b) la facilidad de control del proceso biológico a través de la composición del medio líquido. Sin embargo, el requerimiento de dos equipos, uno para la absorción y otro para la biodegradación del contaminante, los hace poco convenientes con respecto a los biofiltros de lecho escurrido. **(Ancízar, M. 2011)**

1.6.1.2. Ventajas y Desventajas de Biofiltros.

Tipo de biofiltro	Ventajas	Desventajas
BLF	<ul style="list-style-type: none"> -Altas superficies de contacto gas-líquido -Fácil arranque y operación. -Bajos costos de inversión -Soporta periodos sin alimentación. -Conveniente para operación intermitente. -No produce agua de desecho 	<ul style="list-style-type: none"> -Poco control sobre fenómenos de reacción. -Baja adaptación a altas fluctuaciones de flujo de gas. -Grandes volúmenes de reactor.
BL	<ul style="list-style-type: none"> -Mejor control de la reacción. -Posibilidad de evitar acumulación de subproductos. - Equipos compactos. - Baja caída de presión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja superficie de contacto gas-líquido. - Altos costos de inversión, operación y mantenimiento. -Genera lodo residual. -Arranque complejo. - Necesidad de aireación extra. - Necesidad de suministrar nutrientes.
BLE	<ul style="list-style-type: none"> - Control de concentración de sustratos. -Posibilidad de evitar acumulación de subproductos. -Baja caída de presión. -Alta transferencia de 	<ul style="list-style-type: none"> -Generación de lodos. -Altos costes de inversión, operación y mantenimiento. -Necesidad de suministrar nutrientes. -Arranque complejo.

	oxígeno y del contaminante.	- No resiste periodos sin alimentación. -Producción de agua de desecho.
--	-----------------------------	--

1.6.1.3. Microorganismos Empleados en la Biorremediación:

- Bacterias Pseudomonas transgénicas que son capaces de degradar compuestos tóxicos que contienen cloro (como el vinilcloruro) en compuestos menos nocivos.
- Bacterias capaces de degradar algunos de los componentes del petróleo, con la perspectiva de llegar a conseguir microorganismos que, liberados en una marea negra, limpien el agua contaminada.
- Bacterias capaces de reducir las formas altamente tóxicas de mercurio en otras menos tóxicas y volátiles.
- Bacterias que transforman metales del suelo en formas menos tóxicas o insolubles. Por ejemplo: la reducción de cromo (Cr).
- Microorganismos capaces de degradar TNT, un explosivo de gran potencia y muy agresivo para el entorno.
- Bacterias que pueden eliminar el azufre de los combustibles fósiles, como en el caso del carbón o del petróleo, con el fin de favorecer combustiones más limpias.
- La utilización de la bacteria Deinococcus radiodurans para eliminación de elementos radiactivos presentes en el suelo y aguas subterráneas. Este microorganismo es un extremófilo que resiste condiciones extremas de radiación, sequedad, agentes oxidantes y diversos compuestos mutagénicos **(Muñoz, R. 2013)**

Conclusiones Parciales

1. La producción de Aceites Básicos genera residuales líquidos, sólidos y gaseosos compuestos por sustancias orgánicas e inorgánicas diversas que son altamente contaminantes por su volumen y composición. Siendo la disposición ambientalmente aceptable de las mismas un desafío actual para la industria del petróleo.
2. Dentro de los métodos más utilizados para el tratamiento de las aguas residuales oleosas se encuentran: la flotación, coagulación, tratamiento biológico, tecnología de separación por membrana, tecnologías combinadas y proceso de oxidación avanzada.
3. Las emisiones a la atmosfera de los compuestos orgánicos volátiles del petróleo dentro de los que se encuentran los BTEX (Benzeno, tolueno, ethylbenzeno, *o*-xileno, *m*-xileno, and *p*-xileno), junto a las emisiones gaseosas de compuestos de azufre como el H₂S y SO_x son clasificados como polulantes peligrosos y producen un impacto negativo a la salud del hombre y al medio ambiente.
4. Dentro de las tecnologías de tratamiento más utilizadas para las emisiones de contaminantes gaseosos se encuentran los biofiltros con diferentes microorganismos en condiciones adecuadas de pH, temperatura y nutrientes.

Capítulo II. Fundamentos Tecnológicos

En este capítulo se expone la descripción del proceso de producción de Aceites Básicos y se identifican los diferentes efluentes del proceso. Se propone el tratamiento a utilizar a los residuales líquidos, así como, al sólido que se genera a partir del propio tratamiento. Se describen las diferentes etapas de los mismos y se realizan los balances de materiales en cada una de ellas. Se realiza una evaluación de impacto ambiental de estos residuales.

2.1. Descripción del Proceso Tecnológico.

La Refinería Sergio Soto de Cabaiguán se encuentra refinando dos tipos de crudos uno procedente de Matanzas para la producción del líquido asfáltico y el otro procedente de Pina Majagua para la producción de Aceites Básicos: AC- I12, Componente Sigatoca, así como Aceite dieléctrico para Transformadores de hasta 13 KVA.

El producto del fondo de la torre de Destilación Atmosférica, es sometido a Destilación al Vacío donde se extrae un corte lateral (DR-3) que es la materia prima que se utiliza en la Planta de Aceites Básicos (ver especificaciones de calidad en Anexo J). El proceso para la obtención del Aceite Transformador se lleva a cabo de forma discontinua o a batch (ver diagrama de flujo en Anexo A y diagrama de bloques Anexo F). Primeramente se llena la refinadora R- 501 con 90m³ de materia prima posteriormente se le adiciona el 7 % de ácido sulfúrico al 98 %, el tratamiento con ácido sulfúrico se realiza para eliminar sustancias indeseables como: compuestos aromáticos, resinosos, azufrados y nitrogenados los cuales imparten propiedades de poca estabilidad química al producto. Al actuar el ácido sobre los hidrocarburos aromáticos forman los sulfoácidos. Este se realiza en 4 cortes de la siguiente forma:

Primer corte de ácido al 1 % que son 1.65 ton se agita por una hora y se deja decantar durante un tiempo de 4 horas, se purga para el M-500 que se mezcla con fuel e hidróxido de sodio al 48 % hasta lograr una acidez menor de 10 donde pasa al TK 10 que se lava con agua del TK 50 que es agua de sosa producto del lavado de la neutralizadora (residual blanco) aquí se generan gases producto de

estos lavados. Se agita por una hora y se deja decantar durante 4 horas se purga el agua para la cisterna (residual negro) pasando al TK de almacenamiento y el PCP (Gudrón) es bombeado al TK 52 donde mezcla con fuel para utilizarlo en las calderas. Los otros 3 cortes de ácido al 2 % se realizan de la misma forma variando solamente el tiempo de decantación a 8 horas. Después de purgar el último corte de ácido al M-500 se le adiciona al aceite un baño de arrastre con agua normal del TK 26 (1.5 min. adicionando agua y se agita), luego se decanta por un tiempo de 3 horas, pasado este se bombea el aceite ácido de la refinadora hacia la neutralizadora. El tratamiento con sosa a una concentración de 6-10% se realiza para extraer los compuestos oxigenados (ácido nafténico, fenoles), algunos compuestos sulfurosos (sulfhídrico, mercaptanos), neutralización del ácido sulfúrico remanente y los productos de su interacción con el ácido sulfúrico (sulfoácidos, éteres de ácido sulfúrico) que permanece en las fracciones después del tratamiento con el ácido.

Cuando el aceite alcanza la temperatura de 50-55 °C (a los 20min de adicionada se le realiza una prueba con fenolftaleina para ver el cambio de coloración si pasa a rosado está neutro si no se le adiciona más sosa) agitándose hasta alcanzar una temperatura de 80-85 °C. Alcanzada esta se deja decantar 2 horas y se purga el agua jabonosa para el TK-50(residual blanco). Al aceite tratado se le adicionan lavados con agua a una temperatura mayor o igual que la del aceite, los 3 primeros lavados no se agitan a partir del cuarto lavado es cuando comienza la agitación y se continúan con los lavados hasta lograr que el agua de la purga tenga un color transparente aquí se toma una muestra para determinar el contenido de cenizas si es cero se termina con los lavados y se pasa a la etapa de secado del aceite que consiste en agitación con aire seco y temperatura de 80-85°C al cabo de las 3 horas se toma una muestra para determinar el agua por destilación si da cero termina el proceso de secado. Luego se pasa a la etapa de filtrado quedando de 75- 80 m³ de rendimiento esta se dividen en 5 filtradas donde son aproximadamente 16 m³ para cada una pasando al digestor donde se le adiciona 5 % de tierra decolorante, se agita y se eleva la temperatura hasta los 100°C alcanzado esto se cierra vapor al digestor abriendo vacío por 1 hora a los

30 min se toma una muestra para comprobar la acidez y el color, estando en parámetros se recircula por espacio de 15 min y comienza la filtrada. El aceite filtrado pasa a los TB 510-511-512-513, haciéndolo 5 veces más para completar el volumen total de la neutralizadora, si está en calidad es bombeado a TK 54 o 55 donde se le adiciona un 3 % de aditivo antioxidante recirculando por espacio de 5 horas, después de pasado este tiempo se procede al secado con nitrógeno que no es mas que inyectar nitrógeno por un tiempo de 1 hora a una carga de aceite siendo en total 21 carga que es la capacidad de almacenamiento del TB- 518 lográndose una rigidez mayor de 32 , se toma una muestra se le realiza tensión interfacial si da mayor de 38 se comienza a embidonar (ver especificaciones de calidad del aceite en Anexo B). Pasando a la nave de almacenamiento de bidones para su posterior venta. **(Folleto.2006)**

En la producción del aceite dieléctrico se generan residuales sólidos, gaseosos así como aproximadamente 611 m³/año de aguas residuales que se caracterizan por un color oscuro muy intenso y con un fuerte olor a hidrocarburos.

2.2. Pretratamiento de los Residuales Líquidos.

Teniendo en cuenta las características de las aguas residuales y con el objetivo de lograr la separación de la fase oleosa y la fase acuosa fue necesario realizar varios experimentos a nivel de laboratorio utilizando diferentes sustancias químicas con propiedades flocculantes, coagulante y solventes entre ellas: carbón activado, calcita, bagazo y alúmina variando condiciones de volumen de agua residual, dilución, masa en gramos de sorbentes, tiempo y velocidad de agitación. Siendo los resultados preliminares obtenidos favorables al uso de la alúmina se procede a utilizar un diseño experimental fraccionado 2².

Donde

X₁: dilución de la muestra con la adición de agua (v/v).

X₂: masa en g de alúmina.

Y: la variable respuesta, concentración de DQO.

En el desarrollo del experimento se mantiene constante la velocidad de agitación igual a 50 rpm durante un tiempo de 5 min. pasado este, se deja en reposo para favorecer la separación de ambas fases.

En todas las variantes se usó el $Al_2(SO_4)_3$ (alúmina) en estado sólido. Con el sulfato de aluminio en solución no fue posible lograr la separación de las fases. En la Tabla 2.2 se muestran los resultados obtenidos para el diseño.

Tabla 2.2. Resultados del diseño 2^2 .

	Dilución (v/v)	$Al_2(SO_4)_3$ (g)	DQO (mg/L)	% Remoción
1	10	1	2000	23.08
1	10	1	2100	19.24
1	10	1.5	1450	44.23
1	10	1.5	1480	43.08
2	20	1	780	70
2	20	1	850	67.31
2	20	1.5	220	91.54
2	20	1.5	230	91.15

Un análisis de los resultados revela que el modelo de la regresión lineal múltiple describe una relación entre el valor de DQO y las dos variables independientes y que el menor valor de DQO es decir, el mayor porcentaje de remoción (91 %) se obtiene cuando se utilizan la dilución igual a 20 v/v y la masa de alúmina 1.5g . El modelo ajustado obtenido se presenta en la ecuación 2.1

$$DQO = 4445.0 - 122.5*dil - 1160.0*g \text{ alúmina} - 1.0*dil*g \text{ alúmina} \quad (2.1)$$

Según el análisis de varianza Anexo I, existe una influencia estadísticamente significativa entre las variables X_1 y X_2 para un nivel del 95% de confianza.

2.2.1. Caracterización de la Fase Acuosa.

El primer paso en la caracterización de la fase acuosa fue identificar su porcentaje dentro de la muestra, el cual fue de 96.46%, mostrándose en la Figura 2.1.

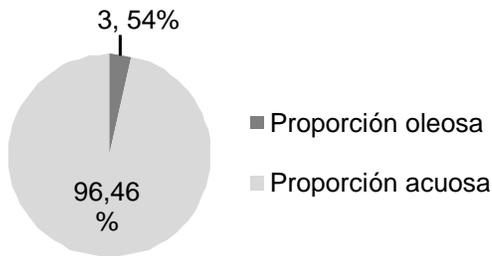


Figura 2.1. *Porcentaje de la fase acuosa en la muestra.*

La caracterización de la fase acuosa reveló que después del pretratamiento y las grandes diluciones aplicadas a estos residuales, el contenido de materia orgánica se redujo grandemente pero, las concentraciones de la DQO y DBO₅ resultaron ser superiores a los valores establecidos por la **(NC 27-99)** como se puede observar en la Tabla 2.3.

El pH registró valores que caracterizan a esta fase acuosa como ácida lo cual impide el vertimiento al medio. Este valor tan bajo de pH puede ser atribuido al uso de la alúmina, pues ella cuando se disuelve en agua produce una hidrólisis ácida porque proviene de una base débil y un ácido fuerte, por lo que su uso produjo una caída de pH. Además estas aguas presentan un alto contenido de sales disueltas.

Tabla 2.3 Características del agua al ser separada de la porción oleosa.

Ensayo realizado	Método	Valor obtenido (mg/L)	NC 27-99 (mg/L)
pH	Potenciométrico	3.60	6.5-8.5
CE μ hos/cm	Potenciométrico	12.24	1400
Fósforo total	Espectrofotométrico. Reducción con ácido ascórbico	0,0147	2
Nitrógeno total Kjeldhal	Espectrofotométrico	4,20	5
DQO (mg/L)	Espectrofotométrico	220-300	70
DBO ₅ (mg/L)	Método de dilución Winkler	75	30
Na	Fotometría de llama	2824	
K	Fotometría de llama	61	
Ca	Espectrometría de Absorción atómica	80	
Mg	Espectrometría de Absorción atómica	194	
Cl ⁻	Argentométrico	4935	
SO ₄ ²⁻	Gravimetría	171	
CO ₃ ²⁻	Volumetría	51	

2.3. Propuesta de Tratamiento para los Residuales Líquidos.

Según las características de las aguas y su volumen se proponen la siguiente alternativa de tratamiento, que tiene como meta principal lograr el mayor grado de remoción posible de los compuestos orgánicos, tóxicos y peligrosos presentes en el mismo.

Se comienza neutralizando con H₂SO₄ al 10%, se le adiciona agua para obtener la dilución de los residuales y se agita con aire para una mayor homogenización

de la muestra. Una vez realizado este tratamiento se procede a la separación de la fase líquida de la sólida mediante el proceso de floculación- flotación, adicionándole sulfato de aluminio pero en este caso los flóculos quedan flotando por lo que la separación se hace a través de un desaceitador, del cual se extraen los flóculos y los lodos y estos son sometidos a una etapa de acondicionamiento y secado con el objetivo de eliminar el agua contenida, posteriormente son mezclados con el asfalto. El agua que sale del desaceitador pasa a un tanque neutralizador donde se le adiciona hidróxido de sodio al 10 % y se agita con aire para alcanzar un pH neutro. Finalmente el agua se somete a un proceso de filtración por membrana con el objetivo de ser reutilizada en el proceso de producción nuevamente. En la Figura 2.2 está representado el esquema tecnológico propuesto para el proceso de tratamiento de residuales.

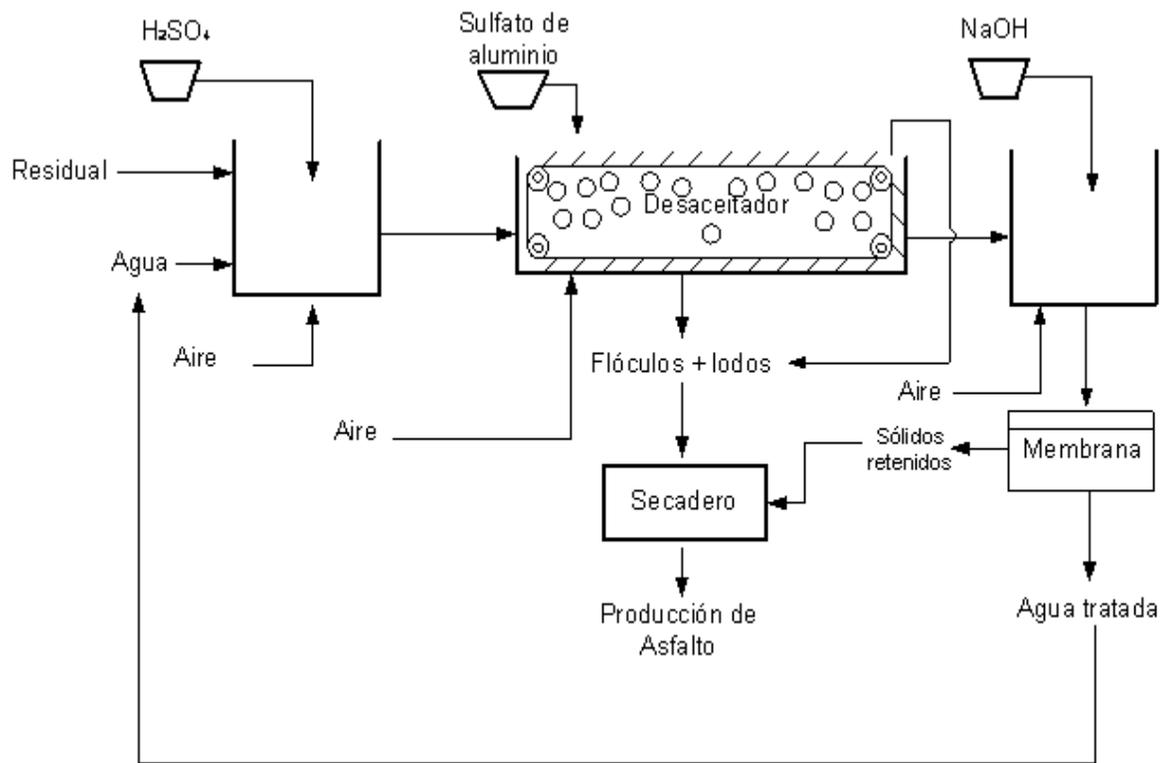


Figura 2.2. Esquema Tecnológico del Proceso de Tratamiento de Residuales.

2.4. Balances de Masas.

Los balances de masas y el dimensionamiento de los equipos se realizarán por etapas teniendo en cuenta los parámetros fundamentales de operación, las corrientes de entradas y salidas. 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 los residuales, se elige un tratamiento secuencial, fraccionando los residuales en ocho partes equivalentes a un volumen de aproximadamente 212 L 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.

2.4.1. Balance de Masa para el Tanque de Pre-tratamiento Inicial.

En esta etapa se realiza el proceso de dilución de los residuales 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.

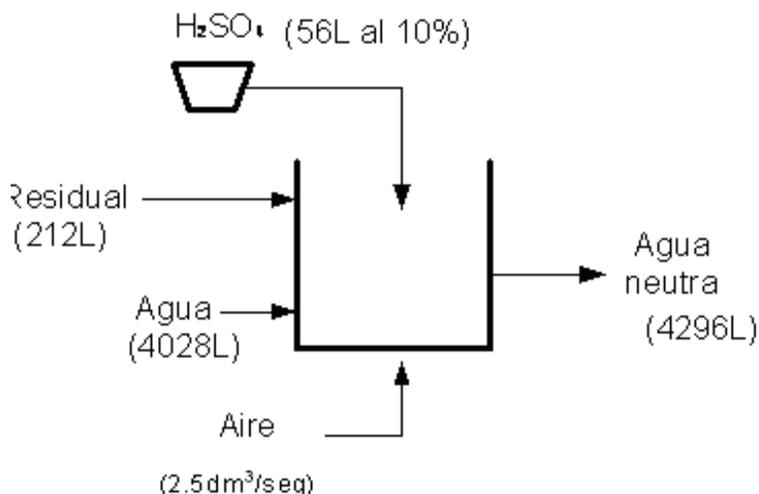


Figura 2.3. Tanque de Pretratamiento Inicial.

2.4.2 Balance de Masa en el Desaceitador.

El flujo de agua residual procedente de la etapa anterior se le dosifica la cantidad de sulfato de aluminio adecuado, 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.

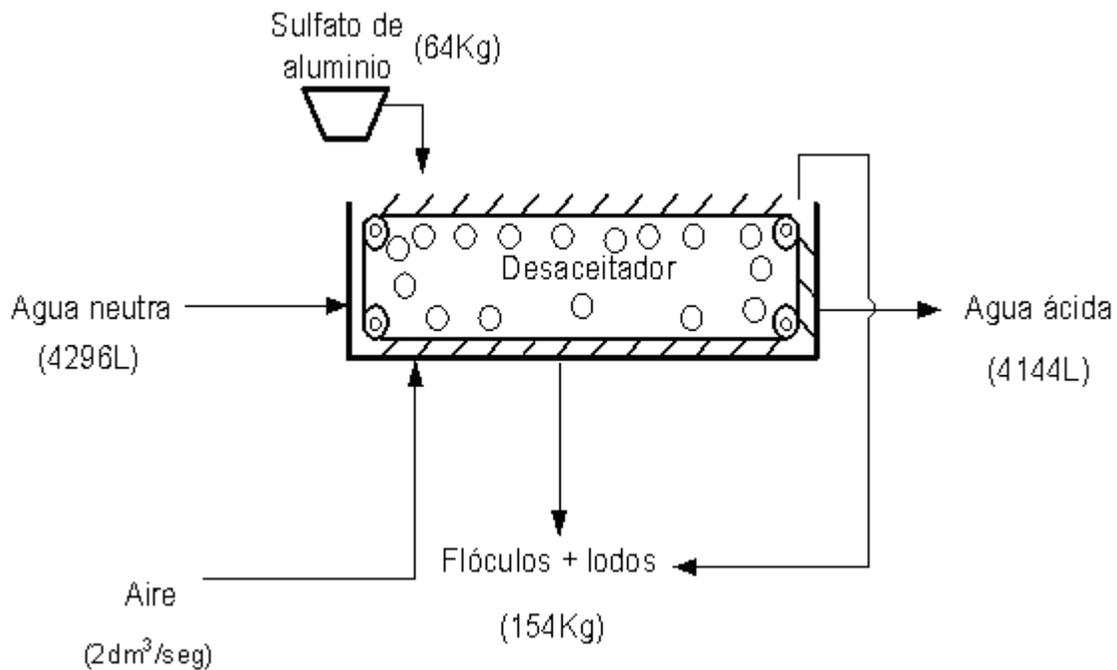


Figura 2.4. Desaceitador.

2.4.3. Balance de Masa en el Tanque de Neutralización 2.

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

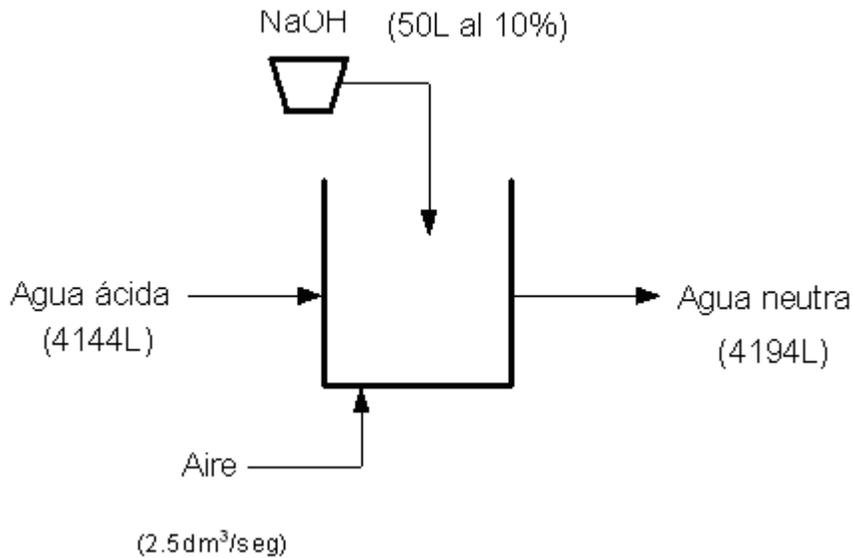


Figura 2.5. *Tanque Neutralizador.*

2.4.4. 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 restantes, esta puede ser reutilizada en el proceso.

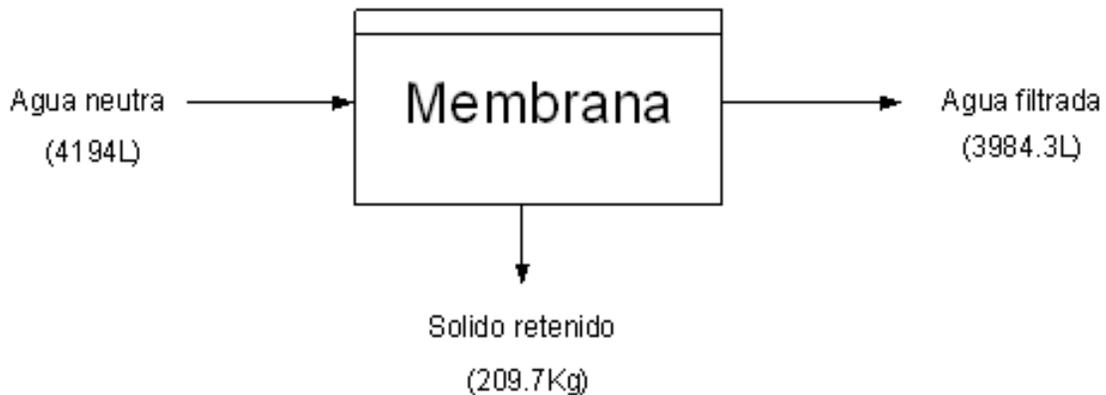


Figura 2.6. *Membrana para el Tratamiento del Agua.*

2.5. 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:

- Minimización del consumo de agua fresca.
- Mejoras económicas en el proceso.

En la figura 2.7 se representa el flujo seguido para el aprovechamiento del agua tratada.

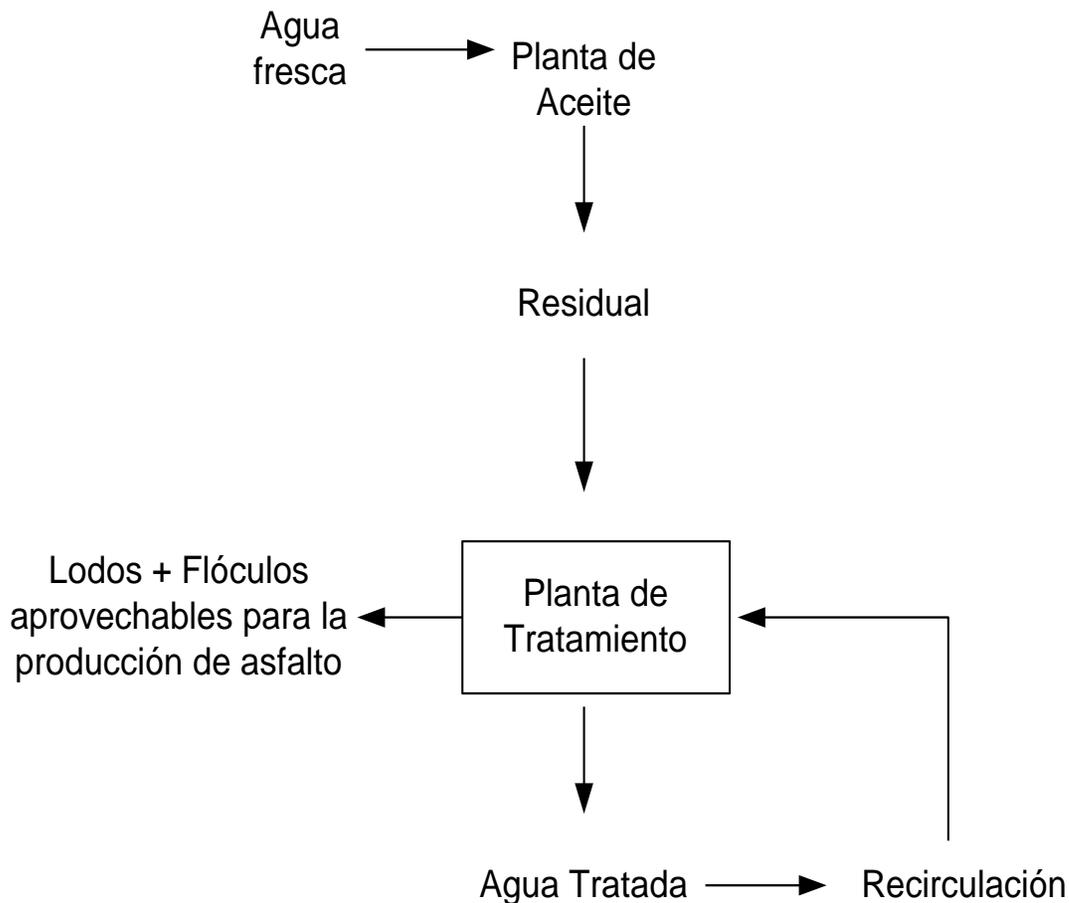


Figura 2.7. Aprovechamiento del Agua Tratada.

2.6. Destino Final de la Porción Oleosa.

Los flóculos generados en el desaceitador así como los lodos provenientes de la filtración por membrana son los que componen la porción oleosa o semi-sólida del proceso y por ser un residual que se genera se decidió realizarle algunas pruebas mezclándolo con otros productos que se extraen en dicha refinería y no verterlos al medio, dándole así su destino final. Para ello se realizaron experimentos, donde se prepararon varias mezclas del residual sólido en diferentes proporciones con fuel, crudo y asfalto. Resultados que se muestran en Anexo E. Donde quedó demostrado que el residual con el crudo no se mezcla, con el fuel sí pero los parámetros están fuera de calidad y finalmente puede ser mezclado con el asfalto hasta una proporción del 40 % sin afectar sus características ni sus parámetros de calidad para su venta al mercado. Datos que se muestran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Comportamiento de los parámetros de calidad del asfalto al ser mezclado en diferentes proporciones con el residual oleoso.

Parámetros U/M	Composición de la mezcla (m/v)			
	10%	20%	30%	40%
Penetración (1/10 mm)	65	64	66	64
Ductibilidad (cm)	100	100	100	100
Temp. Ablandamiento (°C)	51	50	55	50
Temp. Inflamación (°C)	296	298	284	290
Peso Específico	1.047	1.047	1.047	1.047
Viscosidad cinemática (mm ² /s)	472	472	470	470
Índice Penetración	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67

2.6.1. Balance de Masa en la Etapa de Secado.

Según las características del asfalto es necesario suministrarle vapor a una temperatura de más de 100 °C para que se mantenga en estado líquido por esta condición el residual no debe contener humedad alguna. Teniendo en cuenta esto se consideró el diseño de un equipo para la eliminación de la humedad partiendo de los balances de masas realizados y de pruebas de secado que se realizaron a escala de laboratorio, tomándose como base que por cada litro de agua residual se obtienen 1.5 g de sólido húmedo. El residual se secó en una estufa a una temperatura de 105 °C por un tiempo de 2 horas. Obteniéndose de estas 10 g de residuo seco para una eliminación de un 32 % de humedad.

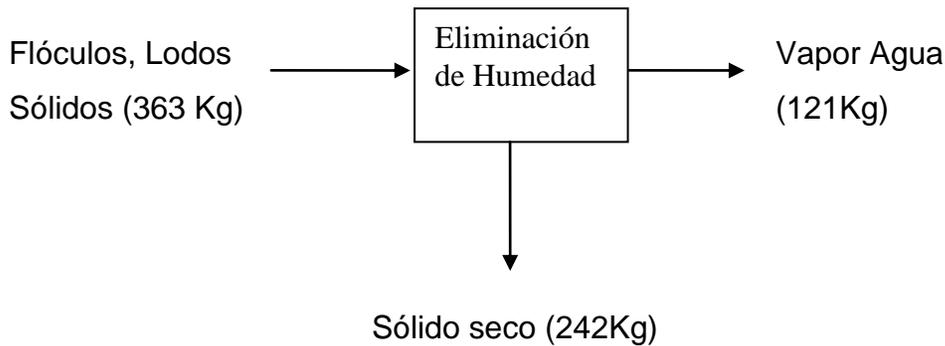


Figura 2.8. Eliminación de la humedad del residuo sólido.

2.7. Identificación y Valoración de los Impactos Ambientales Generados en la Entidad.

Partiendo de las características propias de la empresa, que se encuentra ubicada en Cabaiguán y en sus alrededores hay viviendas y teniendo en cuenta que en ella se llevan a cabo un conjunto de impactos negativos que pueden atentar contra el cuidado y conservación del medio ambiente como consecuencia de las interacciones entre los cambios ambientales notables y los receptores ambientales en riesgo se identificaron y valoraron aquellos que resultaron ser más significativos en el desempeño de sus actividades con vista a proponer las medidas correctivas para su mitigación o eliminación. Los impactos medioambientales más significativos de la planta de producción de Aceites Básicos de la Refinería de petróleo Sergio Soto de Cabaiguán se muestran en el Anexo G.

Del análisis de los principales aspectos ambientales que tienen una incidencia directa o indirecta sobre el Medio Ambiente se elaboró una relación de acciones impactantes que se muestran en la Tabla 2.5 y factores impactados que se tuvieron en cuenta para la identificación y valoración de los impactos ambientales asignándosele el carácter negativo o positivo en su incidencia sobre el medio ambiente de acuerdo a la metodología de **(Conesa, F. 200)** y se procedió al cálculo de las Importancias Absolutas y Relativas expresadas en Unidades de Importancia (UI) ,basándose en el Microsoft Excel, resultados que se muestran en la Tabla 2. 6.

Los factores impactados fueron:

F₁ -Atmósfera

F₂ -Suelo

F₃ -Aguas Subterráneas

F₄- Aguas Superficiales

F₅- Biota

F₆- Hombre

F₇- Economía

Tabla 2. 5. Acciones impactantes.

Nº	Acciones Impactantes
1	Baja cultura ambiental de los trabajadores(A_1)
2	Uso de agua(A_2)
3	Uso de portadores energéticos (A_3)
4	Emisión de contaminantes líquidos(A_4)
5	Emisión de contaminantes sólidos (A_5)
6	Emisión de gases contaminantes.

Tabla 2.6 Matriz de Importancia de la Planta de Aceites Básicos antes del implemento de la planta de tratamiento de residuales.

Acciones Impactantes Factores Impactados	A1	A2	A3	A4	A5	A6	UIP	Imp. Absol	Imp. Rel
	Atmósfera	-19	0	-16	0	0	-80	50	-115
Suelo	-19	-16	0	-64	-64	0	100	-163	-16.3
Aguas subterráneas	0	-63	0	-76	-76	0	250	-215	-53.8
Aguas Superficiales	0	-60	0	-88	-84	0	250	-232	-58
Biota	-13	-13	-42	-55	-64	-64	100	-251	-25.1
Hombre	-26	0	-34	-41	-48	-46	100	-195	-19.5
Economía	0	-31	-49	-12	-15	-18	150	-125	-18.8
Importancia Absoluta	-77	-183	-141	-336	-351	-208			
Importancia Relativa	-3.9	-9.2	-7.1	-17	-18	24			

	Efecto Irrelevante, valores menores de 25
	Efecto Moderado, valores entre 25 y 50
	Efecto Severo, valores entre 50 y 75
	Efecto Crítico, valores mayores de 75

De la matriz se puede resumir que los factores más impactados con un efecto crítico son las aguas subterráneas y las superficiales con (-53.8) y (-58) Unidades Relativas y (-215), (232) Unidades Absolutas respectivamente ya sean por la emisión de residuales líquidos, las aguas que se generan en la etapa de lavado al aceite transformador así como al gudrón de donde sale la llamada agua residual negra y por otro lado se encuentra la generación de residuos sólidos generados a partir del tratamiento de dichas aguas. Le sigue la generación de gases contaminantes con (-115) UA debido a los vapores de ácido sulfúrico y de hidróxido de sodio que se agregan en las diferentes etapas del proceso, le sigue la biota con (-251) Unidades Absolutas y luego el suelo con (-16.3) Unidades Relativas y (-163) Unidades Absolutas afectadas también por la generación de residuos líquidos así como de sólidos. Sufriendo un efecto moderado: la Biota con (-251) UA, el hombre con (-195) UA y la Economía con (-125) UA, puesto que de una forma directa o indirecta estos factores impactados afectan a la salud de las personas, tanto a la economía como a la diversidad biológica.

Conclusiones parciales del Capítulo II.

1. La caracterización de la fase acuosa reveló el carácter ácido de dicha fase y su alto contenido de materia orgánica e inorgánica por lo cual se propone una alternativa de tratamiento que comprende una etapa de neutralización, otra de separación de ambas fases por coagulación-flotación, utilizando sulfato de alúmina y aeración en un decantador - desaceitador provisto de estera transportadora y por último una etapa de filtración por membrana con el objetivo de poder reutilizar el agua en el proceso.
2. Al separar la fase oleosa de las aguas residuales se genera un residuo sólido el cual, unido a los sólidos retenidos en la membrana se someten a un proceso de acondicionamiento y secado para su posterior incorporación a la producción de asfalto.
3. Fueron realizados los balances parciales y totales de materiales por etapas, teniendo como base la caracterización de las aguas de la planta de producción de Aceites Básicos.
4. Se realizó una valoración del impacto ambiental basándose en la matriz de Conesa en la cual se demostró que las acciones impactantes más significativas son: uso de agua, emisión de contaminantes líquidos, emisión de contaminantes sólidos y emisión de gases contaminantes y los factores más afectados fueron: suelo, aguas subterráneas, superficiales y la biota.

Capítulo III. Diseño y Análisis Económico.

En este capítulo se realiza el diseño del equipamiento propuesto. Se propone un tratamiento a los gases generados en la planta de Aceites Básicos. Se hace una evaluación del impacto ambiental según la matriz de Conesa y 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 de 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, así como un análisis de sensibilidad sobre estos mismos indicadores.

3.1. Diseño de los Tanques: Neutralizador 1 y Neutralizador 2.

Para el diseño de los tanques se tienen en cuenta una serie de parámetros como: volumen, relación altura diámetro y el % de sobrediseño según **(Peters. 1991)**. Se comienza con el dimensionamiento del tanque neutralizador 1 y seguidamente el neutralizador 2 datos que se muestran en la Tabla 3.1. A estos se les suministra un flujo de aire por el fondo a través de una tubería provista de pequeños orificios para la homogenización. El material de los tanques es de acero inoxidable del tipo 305 debido a la agresividad del residual.

Tabla 3.1 Dimensionamiento de los tanques de neutralización 1y 2.

PARÁMETROS	ECUACIONES	RESULTADOS TK 1	RESULTADOS TK 2
Volumen	$V_{real} = V_{Cal} * 1.25$	$V = 5,4m^3$	$V = 5,4m^3$
Relación altura/diámetro	-	$h/D=0,5$	$h/D=0,5$
Diámetro	$D = 2 * \left(\sqrt[3]{\frac{V}{\Pi}} \right)$	2,4	2,4
Altura	-	$H=1,2m$	$H=1,2m$

3.2. Diseño del Desaceitador.

Los Desaceitadores son depósitos rectangulares de circulación longitudinal, provistos de distribuidores, de un barrido de fondo y de superficie, con 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, esquema que se muestra en la Figura 3.1. El flujo de aire debe garantizar la homogenización del líquido y favorecer la migración de los flóculos hacia la superficie o flotación de los mismos, este es suministrado por tuberías provistas de pequeños orificios. El material que se selecciona para el diseño del equipo es de acero inoxidable del tipo 305 debido a la agresividad del residual que se está tratando. Para el diseño se tiene en cuenta una serie de parámetros que se muestran en la Tabla 3.2, así como los resultados del cálculo según (Reyes, O. 2011).

Tabla 3.2. Diseño del Desaceitador.

PARÁMETROS	ECUACIONES	RESULTADOS
Radio crítico de la partícula	$r_c = \sqrt[3]{\frac{9\mu^2 * \rho_A}{4g \rho_A - \rho_P}}$	0,02cm
Diámetro crítico de la partícula	$D_c = 2r_c$	0,04cm
Relación Altura Líquido/Ancho depósito	$R_{HA} = \frac{H_l}{A_d}$	0,45
Altura del líquido	-	1,5m
Ancho del depósito	-	3,33m
Velocidad de flujo Horizontal	$Vf_H = \frac{Q}{Af_h}$	21m/h
Velocidad ascensional	$Vf_A = \frac{Vf_H}{15}$	1,4m/h
Altura del equipo	-	2 m

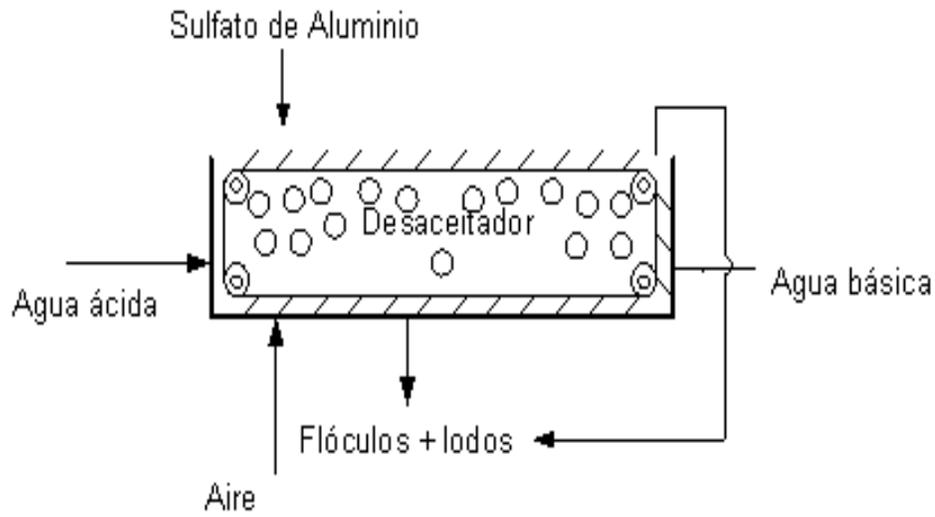


Figura 3.1. Esquema del Desaceitador.

3.3. Selección del Módulo de Membrana.

El agua que sale del desaceitador es sometida a un proceso de tratamiento por membrana de ultrafiltración para la eliminación de contaminantes que se encuentran disueltos o dispersos en forma coloidal y a bajas concentraciones. Las membranas de ultrafiltración están compuestas de algunos tipos de materiales poliméricos con poros en el rango de menos de $0.01 \mu\text{m}$ a $0.1 \mu\text{m}$. Estas membranas son usadas para diferentes separaciones que incluyen el tratamiento de aguas residuales aceitosas. Su operación se lleva a cabo a temperatura ambiente, son procesos sencillos y diseños compactos que ocupan poco espacio y pueden combinarse con otros tratamientos. **(Instructivo A 701. 2005)**

3.4. Diseño del Tanque para la Eliminación de la Humedad de los Residuos Sólidos.

Teniendo en cuentas las características de los residuales sólidos, se decide diseñar un tanque con suministro de vapor eliminando así la humedad presente en los mismos y a la vez para mantenerlos en estado líquido, condición que es necesaria para poder mezclarlos con el asfalto. En la Tabla 3.3 se muestran los parámetros a calcular y en la Fig. 3.2 se puede observar un ejemplo del mismo con los compartimentos de vapor así como las válvulas y el regulador de presión que este requiere. Se diseña también el tanque para el almacenamiento de este que se muestran su parámetro de cálculo en la Tabla 3.4. Los datos utilizados fueron sacados del diagrama de Ramzín, Figura.10-1 a y b, **(Pavlov.1981, Peters. 1991)**.

Tabla 3.3. Dimensionamiento y cálculo del tanque para eliminar humedad.

PARÁMETROS	ECUACIONES	RESULTADOS
Volumen	$V_{real} = V_{Cal} * 1.25$	$V = 225m^3$
Relación altura/diámetro		$h/D = 0,5$
Diámetro	$D = 2 * \left(\sqrt[3]{\frac{V}{\Pi}} \right)$	$D = 8.5m$
Altura	-	$H = 5m$
Consumo Especifico de Calor	$q = \frac{I1 - I0}{X1 - X0} \quad Q = W * q$	$q = 1483.6 \text{ kJ/kg}$ $Q = 6.59 \text{ kJ/h}$

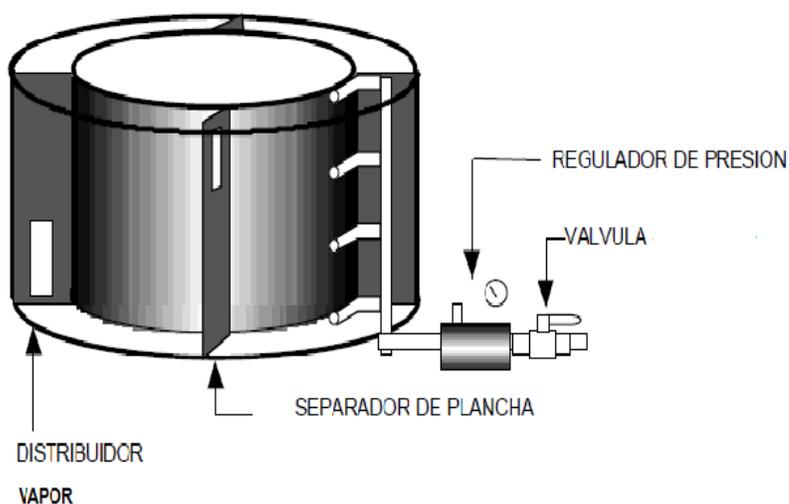


Figura 3.2. Esquema del Tanque para la Eliminación de Humedad del Residual Sólido.

Tabla 3.4. Dimensionamiento y cálculo del Tanque de Almacenamiento de los Residuos Secos.

PARÁMETROS	ECUACIONES	RESULTADOS
Volumen	$V_{real} = V_{Cal} * 1.25$	$V = 225m^3$
Relación altura/diámetro		$h/D = 0,5$
Diámetro	$D = 2 * \left(\sqrt[3]{\frac{V}{\Pi}} \right)$	$D = 8.5m$
Altura	-	$H = 5m$

3.5. Sistema de Tubería y Bombeo.

Según el proceso para el tratamiento de las aguas residuales así como de los residuos sólidos hay que diseñar las bombas necesarias y definir los tramos y tipos de tuberías que se instalarán en la planta. Datos que se obtienen del (Rosabal, V. 2006). Por lo que se escogieron tubos de hierro fundido y acero inoxidable teniendo en cuenta la agresividad del producto. En la Figura 3.3 se muestra un diagrama del sistema de tuberías y bombas.

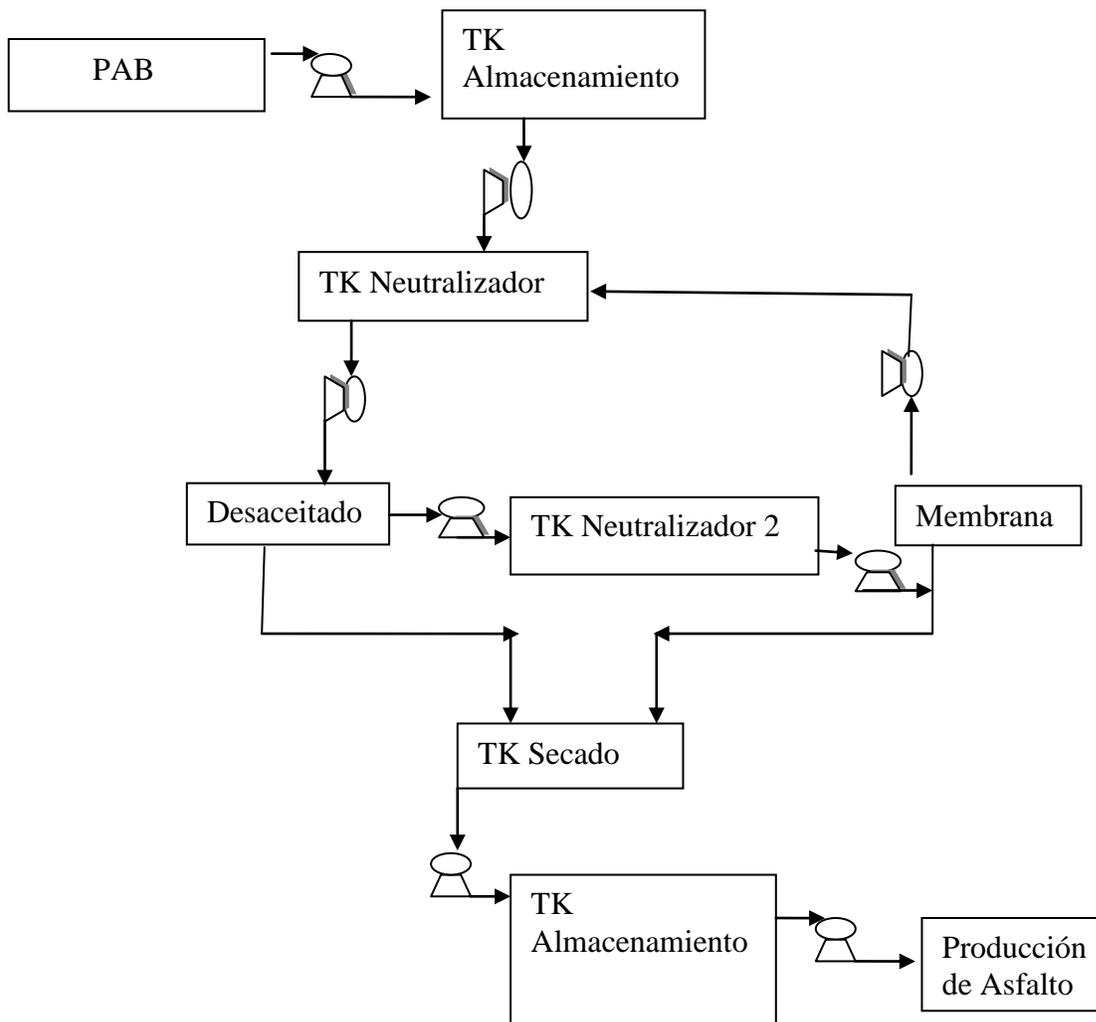


Figura 3.3. Sistema de Tuberías y Bombeo de la Planta de Tratamiento.

3.5.1. Bombas.

En la Tabla 3.7 se muestran los parámetros para el cálculo, los datos y los resultados de cada una de las bombas que se requieren en la instalación. Para este cálculo se basan en las formulas del **(Rosabal, V. 2006), (Tabla 14), (Pavlov, 1981)**, y los datos son obtenidos de los balances de masa del Capítulo II.

Primeramente se realizó el cálculo de la bomba para bombear el fluido de aguas oleosas desde la planta de Aceites Básicos hasta el tanque de estabilización del pH y de este hasta el desaceitador donde ocurre la separación por floculación se necesitan dos bombas centrífugas puesto que son recomendadas cuando se opera con fluidos de baja viscosidad. Se calcula la carga y la potencia necesaria de la bomba, parámetros de cálculo que corresponden a Resultados 1, por lo que se escoge un motor trifásico de 0,12KW, 220/440, 60Hz con velocidad sincrónica de 1800r/min. Luego para bombear el fluido desde el desaceitador hasta el tanque de neutralización con NaOH, hacia la membrana y después reincorporarla al proceso se utilizan cuatro bombas centrífugas que corresponden a Resultados 2 y se escogen bombas, de 2900 rpm, 50Hz, monofásico a 220V. Finalmente para bombear los residuales al tanque de almacenamiento y para luego ser inyectados en las líneas de producción de asfalto se requieren de 2 bombas que corresponden a Resultado 3 y se escoge motor monofásico de 110/220, 60 Hz de potencia nominal 2.35 KW, con velocidad sincrónica de 1200 rpm.

Tabla 3.5. Parámetros para el cálculo de las bombas y sus resultados.

Fórmulas	Resultados 1	Resultados 2	Resultados 3
$H = \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho * g} + \frac{\Delta(\alpha * V^2)}{2 * g} + h_p$ $h_p = \left(f * \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{V^2}{2 * g}$ $N = \frac{H * \rho * g * Q}{\eta * 1000}$ $N_{inst} = \beta * N$	Datos: $Q_{RESD} = 5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ $V_{REC} = 2,2 \text{ m/s}$ $\Delta Z = 4 \text{ m}$ $V_1 = V_2 = 0$ $P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}$ $D = 0,012 \text{ m}$ $L = 10,3 \text{ m}$ $\beta = 1,5 \text{ m}$ $f = 0,048$ $\sum K = 3,2$	Datos: $Q_{AGUA} = 1,15 \text{ m}^3/\text{s}$ $V_{REC} = 2,2 \text{ m/s}$ $\Delta Z = 3 \text{ m}$ $V_1 = V_2 = 0$ $P_1 = 1 \text{ atm}$ $P_2 = 4 \text{ atm}$ $D = 0,0178 \text{ m}$ $L = 25 \text{ m}$ $\beta = 1,7 \text{ m}$ $f = 0,059$ $\sum K = 4,45$	Datos: $Q_R = 2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ $V_{REC} = 2,2 \text{ m/s}$ $\Delta Z = 9 \text{ m}$ $V_2 = 0,96 \text{ m/s}$ $P_1 = 1 \text{ atm}$ $P_2 = .8 * 10^5 \text{ Pa.s}$ $D1 = 0,1524 \text{ m}$ $D2 = 0,0508 \text{ m}$ $L = 30 \text{ m}$ $\beta = 1,7 \text{ m}$ $f = 0,039$ $\sum K = 68,1$
	$\frac{\Delta(\alpha * V^2)}{2 * g} = 0$ $h_p = 10,96 \text{ m}$ $H = 14,96 \text{ m}$ $N = 3,665^2 \text{ KW}$ $N_{IN} = 6,231 \text{ KW}$	$\frac{\Delta P}{\rho * g} = 0.03$ $\frac{\Delta(\alpha * V^2)}{2 * g} = 0$ $h_p = 24,85 \text{ m}$ $H = 27,88 \text{ m}$ $N = 2,249^2 \text{ KW}$ $N_{IN} = 3,823 \text{ KW}$	$\frac{\Delta(\alpha * V^2)}{2 * g} = 0$ $h_p = 10.54 \text{ m}$ $H = 107.39 \text{ m}$ $N = 2.35 \text{ KW}$ $N_{IN} = 3,53 \text{ KW}$

3.6. Propuesta de Tratamiento para los Gases Contaminantes Generados en la Planta de Aceites Básicos.

Como se explica anteriormente en la planta para la obtención de Aceites Básicos se generan gases contaminantes en la etapa del lavado del gudrón estos gases se caracterizan por un olor fuerte a azufre compuestos mayormente por hidrocarburos, sulfuros y dióxidos de carbono los cuales son expulsados a la atmósfera sin tratamiento alguno. Para ello se propone el uso de biofiltros, proceso biológico utilizado para el control o tratamiento de compuestos volátiles orgánicos e inorgánicos presentes en la fase gaseosa. En la biofiltración, los microorganismos son los responsables de la degradación biológica de los

contaminantes volátiles contenidos en corrientes de aire residual. Este pasa a través de los macroporos del material filtrante que sirve de soporte a bacterias en crecimiento.

La degradación de los contaminantes ocurre previa transferencia del aire a un medio líquido en donde es utilizado como fuente de carbono y energía (compuestos orgánicos e inorgánicos). La utilización implica producción de biomasa y la oxidación parcial o total del contaminante. A su vez, la biomasa, bajo ciertas condiciones sufre una oxidación por respiración endógena. De esta manera, los procesos de biofiltración dan lugar a una descomposición completa de los contaminantes, creando productos no peligrosos. El principio de funcionamiento se muestra en la Figura 3.4.

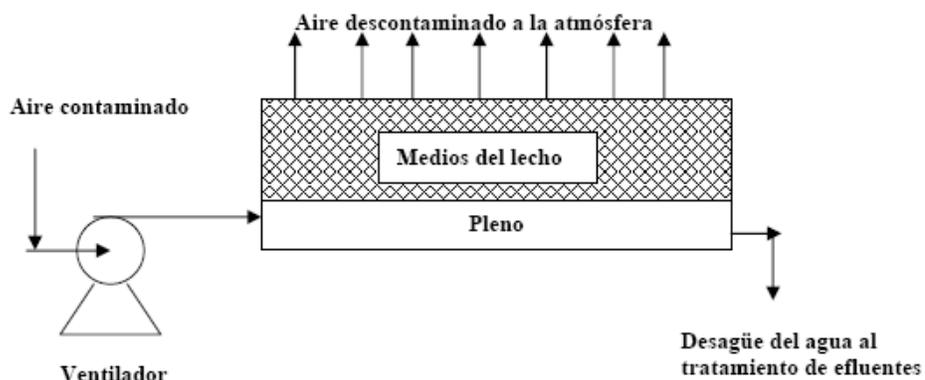


Figura 3.4. Principio de Funcionamiento de los Biofiltros.

3.6.1. Selección del Equipamiento para los Gases Contaminantes Generados en la Planta de Aceites Básicos.

Para los gases generados se propone hacerle un tratamiento mediante el uso de un biofiltro de lecho fijo (BLF), el esquema se muestra en la Figura 3.5. El principio de funcionamiento del (BLF) consiste en hacer pasar la corriente gaseosa saturada de humedad que contiene al contaminante a través del lecho en donde los contaminantes son degradados por los géneros *Pseudomona* y

Nocardia que estas son recomendadas para degradar gases sulfurosos y COV respectivamente.

Las partes en que consta un biofiltro de lecho fijo son las siguientes:

- Un espacio con ventilación mecánica por las emisiones de gases biodegradados, que puede estar cubierto o no.
- Un sistema de ventilación de aire para mover este aire residual a través del biofiltro.
- Un sistema de humidificación mediante duchas de agua para mantener una corriente de aire saturada de vapor de agua.
- Una cámara de aire para distribuir uniformemente el aire residual por debajo de los medios de relleno del biofiltro.
- Una estructura de apoyo, sobre el que está el material de relleno donde se desarrollan los microorganismos y da lugar a la interacción gas contaminado microorganismos, este apoyo está situado por encima de la cámara de aire.
- Los medios de relleno del biofiltro que sirven como superficie de los microorganismos para vivir, como fuente de algunos nutrientes, como estructura y para mantener la humedad y la temperatura.

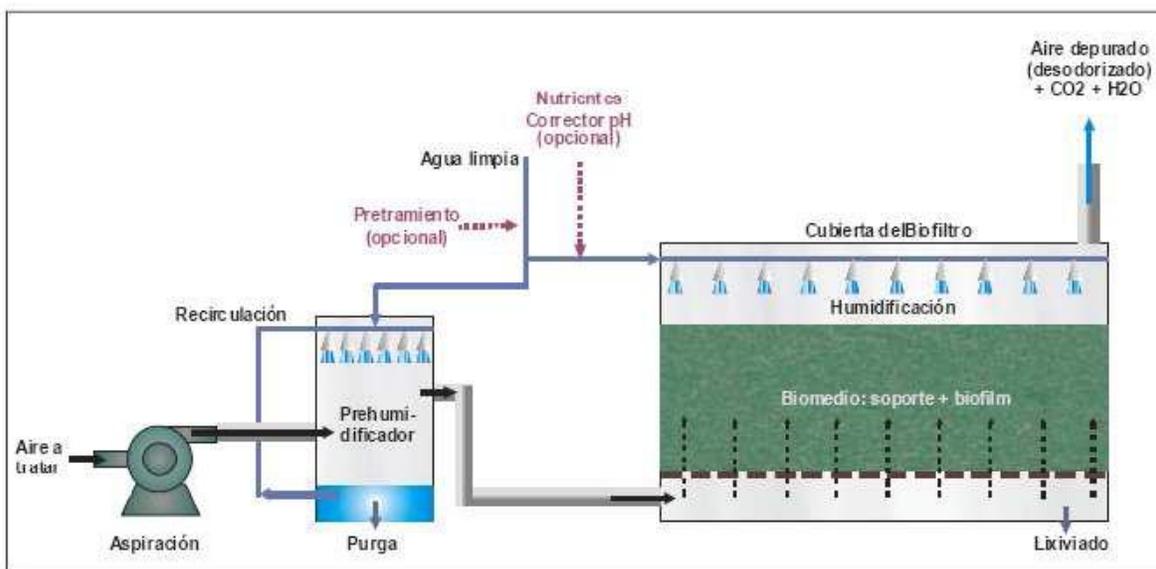


Figura 3.5. *Biofiltro de Lecho Fijo.*

3.7. Evaluación de los Impactos Ambientales después de la Implementación de la Planta para el Tratamiento de los Residuales.

Después de diseñada la planta para el tratamiento de los residuales líquido, sólidos y la propuesta de diseño de los gases se procede a una nueva evaluación del impacto ambiental teniendo en cuenta los mismos aspectos identificados en el aspecto 2.7 del Capítulo II, mostrándose en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Acciones impactadas

Nº	Acciones Impactantes
1	cultura ambiental de los trabajadores(A₁)
2	Uso de agua(A₂)
3	Uso de portadores energéticos (A₃)
4	Emisión de contaminantes líquidos(A₄)
5	Emisión de contaminantes sólidos (A₅)
6	Emisión de gases tóxicos

Los factores impactados fueron:

F₁ -Atmósfera

F₂ -Suelo

F₃ -Aguas Subterráneas

F₄- Aguas Superficiales

F₅- Biota

F₆- Hombre

F₇- Economía

Tabla 3.7. Matriz de Importancia de la Planta de Aceites Básicos después de implementado el tratamiento de residuales.

Acciones Impactantes Factores Impactados	A1	A2	A3	A4	A5	A6	UIP	Imp. Absol	Imp. Rel
	Atmósfera	-16	0	-14	0	0	-18	50	-48
Suelo	-19	-16	0	-21	-21	0	100	-77	-7,7
Aguas subterráneas	0	-28	0	-20	-24	0	250	-72	-18
Aguas Superficiales	0	-28	0	-16	-22	0	250	-66	-16,5
Biota	-13	-13	-22	-19	-22	-19	100	-108	-10,8
Hombre	-26	-35	-34	-25	-20	-21	100	-161	-16,1
Economía	0	-31	-49	-12	-15	-18	150	-125	-18,8
Importancia Absoluta	-74	-151	-119	-113	-124	-76			
Importancia Relativa	-3.7	-7.6	-6	-5.7	-6.2	3.6			

	Efecto Irrelevante, valores menores de 25
	Efecto Moderado, valores entre 25 y 50
	Efecto Severo, valores entre 50 y 75
	Efecto Crítico, valores mayores de 75

Según los datos obtenidos de la matriz de importancia se puede destacar que los impactos que predominan son irrelevantes y moderados debido a un sistema adecuado de tratamiento de residuales pues el agua es reincorporada nuevamente al proceso de producción, se utilizan los residuales sólidos en su totalidad mezclándose con el líquido asfáltico, y por un adecuado tratamiento a los gases generados. Se puede observar como varían los efectos impactados sobre las acciones impactantes de forma considerable manifestándose mayormente en la emisiones de residuales líquidos y sólidos sobre las aguas superficiales y las subterráneas dando (-72) y (-66) UA respectivamente, así como sobre la biota obteniéndose (-108) UA. Por otro lado la generación de gases tóxicos sobre la atmósfera la biota y el hombre arrojando (-48) y (-108) UA, y (-161) UA respectivamente.

3.8. Costo de Equipamiento e Inversión.

Se realizó un estudio económico utilizando las herramientas el Microsoft Excel, 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.

3.8.1. Determinación del costo de adquisición del equipamiento.

Para el cálculo del costo actual del equipamiento se utiliza el método descrito por (Peter. 1991) utilizando como factor de escalado la regla de la 0.6 donde C_{Adq} : Costo de Adquisición, C_{orig} Costo Original, I_{actual} Índice Actual, I_{orig} Índice Original, resultados que se muestran en la Tabla 3.9.

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

Índice actual = 524,4

Índice original = 381,7

3.8.1.1. Costo del módulo de membrana.

Para la instalación de la membrana de ultrafiltración 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 3.7 muestra la distribución media porcentual del costo del capital.

Tabla 3.7. 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	\$ 5 242.5

Costo de operación de la membrana

1 US\$/L/día equivale a 4194 US\$

En la tabla 3.8 se presenta la distribución media porcentual del costo de operación

Tabla 3.8. Distribución media porcentual del costo de Operación.

Accesorios	%	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

Tabla 3.9. Costo de adquisición de los equipos.

Equipos	Costo Actual \$/U	Nº Equipos	Costo Total \$/U
TK S	2 500	4	10000
Bombas	1 750	8	14000
Biofiltro	8 000	1	8000
Módulo Membrana	9 436.5	1	9 436.5
Desaceitador	7 135	1	7135
Tuberías	90	62.2	5600
Total			54171

3.8.2. Cálculo de los Costos Directos, Indirectos y Totales.

A partir del Costo Total de Adquisición de los equipos se realizaron los cálculos correspondientes para determinar los Costos Directos, Costos Indirectos, Costos Fijos de Inversión y Costos Totales de Inversión, por último se calculan los Costos Variables con los Cargos Fijos, llegando al Costo Total de la Producción resultados que se muestran en las Tablas 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 y 3.15 respectivamente

Tabla 3.10. Cotos directos

COSTOS DIRECTOS		
Aspecto	%	Costo (\$)
CA		54171
Instalación	25	13542.75
Instrumentación	10	1354.28
Instalaciones eléctricas	10	135.43
Edificaciones	15	20.31
Movimiento de terreno	10	2.03
Facilidades de servicio (Inst.)	40	0.81
Tierras	4	0.03
CD		69226.64

Tabla 3.11. Costos Indirectos.

COSTOS INDIRECTOS		
Aspecto	%	Costo (\$)
Ingeniería y supervisión	15	8125.65
Gastos de construcción	15	2031.4125
CI		10157.06

Tabla 3.12. Costos Fijos de Inversión y Costo Total de la Inversión.

CD + CI		79383.71
Otros Aspectos	%	Costo (\$)
Derecho de contrato % (CD + CI)	5	3969.19
Contingencia % (CD + CI)	10	7938.37
COSTO FIJO DE INVERSIÓN (CFI)		11907.56
COSTO TOTAL DE INVERSIÓN (CTI)		91291.26

Tabla 3.13. Costos Variables.

Aspectos	%	Bases	Costo básico,	Costo,
			\$/año	\$/año
Materia Prima				14780.000
Mano de Obra				1591.574
Operación de supervisión	0,1	1591.574	15 915.74	1591.574
Mtto. y reparaciones	0,04	476.302	10 985.65	476.302
Operación suplementarias	0,1	47.630	439.42	47.630
Cargos de Laboratorio	0,1	1591.574	15 915.74	1591.574
Suministros	0,01	544.754	5 4377.07	544.754
Costos Variables (CV)				34947.579

Tabla 3.14. Cargos Fijos

Seguros (propiedad)	0,02	del CFI	10 985.65	238.151
Impuestos interés)	0	del CFI	10 985.65	0.000
Renta	0	del CFI	10 985.65	0.000
Depreciación	Se calcula separadamente			
Cargos Fijos				238.151

Tabla 3.15. Costo Total de la Producción

Costos Indirectos	0.6	De la Mo, Mtto, Superv.	17 946.74	10790.172
Costos Indirectos				10790.172
Costos de Fabricación				45975.903
Administración	0,2	De la Mo, Mto, Superv.	17 946.74	3596.724
Distribución y Venta	0,05	del CTP	54 377.07	2723.771
Investigación y desarrollo	0,04	del CTP	54 377.07	2179.017
Gastos Generales				8499.511
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN CTP				54475.414

3.8.3 Externalidades.

Se considera en las externalidades:

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

La primera externalidad se clasifica como recíproca porque la Planta de Aceites 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 recíprocas y penetrantes, ya que los compuestos orgánicos ejercen efectos nocivos en los peces y plantas acuáticas, y contaminan las fuentes de agua potable, los cuales causarían daños y alteraciones de los ecosistemas del lugar, es recíproca 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.

3.8.4. 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 diferentes ecosistemas. 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. En la Tabla 3.16 se muestran los valores de los ingresos ya sea por externalidades, por ventas de asfalto y por el ahorro de agua, llegando a los ingresos totales. El ingreso debido a externalidades es de 44 000 \$/Año

Se considera el ingreso por ahorro de agua de 34 406 \$/ Año y por las ventas de asfalto pues se incrementa la producción de 2 733 m³/ año a 4 983 m³/Año debido al aprovechamiento de los residuos sólidos siendo de 96 705.22 \$/Año

Tabla 3.16. Ingresos

Ingresos	CUP
Por daños evitados a las personas.	\$85 00.00
Daños evitados a la flora y fauna acuática, y a las aguas Superficiales, Subterráneas y Suelo.	\$10 000.00
Por no contaminación del aire	\$10 000.00
Pago por no multas. Decreto 200(contravenciones)	\$ 15 000.00
Total	\$44 000.00
Ingresos por las Ventas de Asfalto	\$96 705.22
Ingresos por Ahorro de Agua	\$34 406.
Ingresos Totales	\$175 111.22

3.8.5. 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: VAN, TIR y 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 3.6 muestran valores del VAN igual a \$ 320 253.59 para una vida útil de la planta de 15 años y una TIR de 98.3%, permitiendo esto recuperar la inversión en un periodo menor de 2 años.

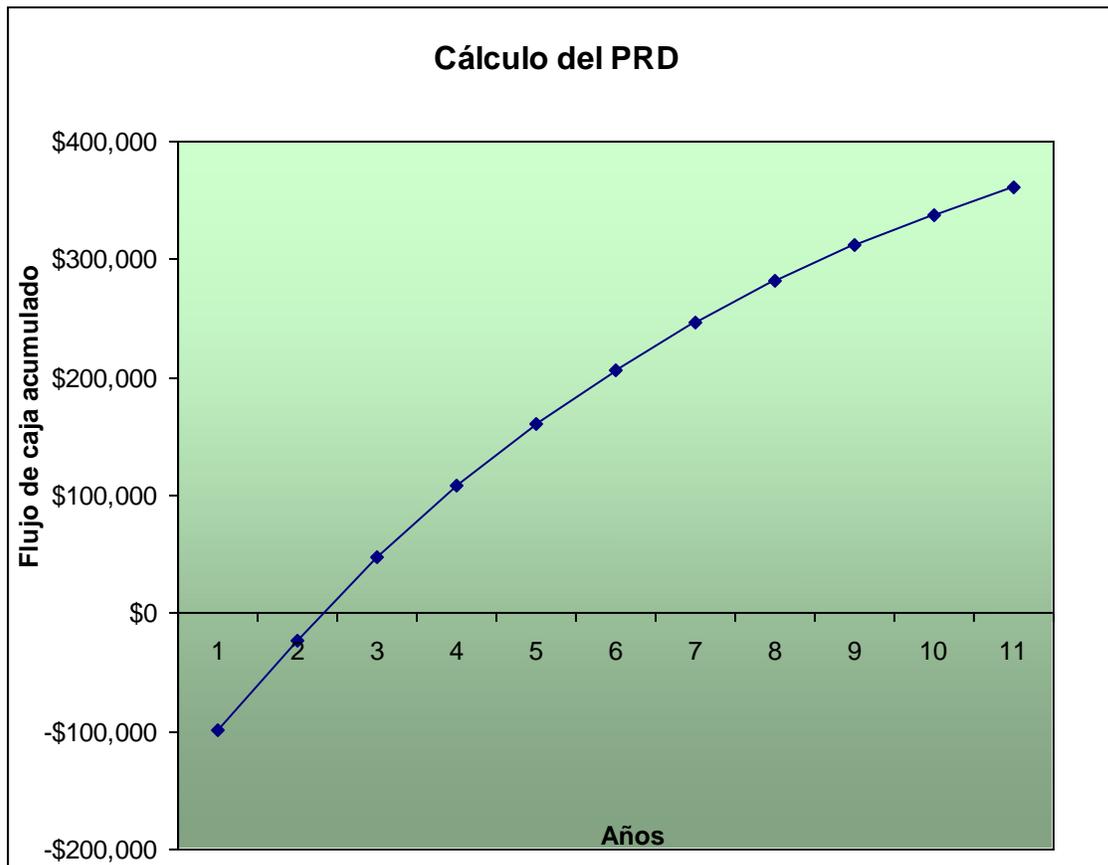


Figura 3.6. Resultados de los indicadores económicos.

3.9. Análisis de Sensibilidad.

Se realiza un análisis económico donde se calculan los indicadores dinámicos nuevamente para comparar la fluctuación existente, aumentando o disminuyendo hasta un 20% del costo de la materia prima y los productos utilizados para el proceso, así como el precio del asfalto y de esa forma analizar el comportamiento del costo total de la producción, los ingresos por venta y los indicadores económicos como el VAN y el TIR. Resultados que se muestran en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17. Comportamiento de los valores económicos al ser variados los % de materia prima y precio del asfalto.

% Referencia	CFI(\$)	CTI	CTP	Ing. Por Ventas	Ing. Totales	VAN	TIR/ Años
-10 %	10 986	84 223	41 239	131 250	175 250	327 045	99 /(1,5)
-20 %	10 986	84 223	39 597	131 250	175 250	327 914	99 /(1,5)
+10 %	10 986	84 223	120 065	131 250	175 250	246 672	59 /(2,2)
+20 %	10 986	84 223	193 086	131 250	175 250	285 322	77/ (3)
+Precio Asfalto	10 986	84 223	54 377	350 000	394 000	988 351	100/ (1)
-Precio Asfalto	10 986	84 223	54 377	7 000	114 000	132 978	52/ (3)

La Figura 3.7 muestra la variación que existe al disminuir el 20% del precio del asfalto y la Figura 3.8 muestra la variación que existe al aumentar el 20 % del costo de materia prima, las Figuras correspondientes a las variaciones restantes a los aspectos mostrados en la Tabla 3.17 se muestran en Anexo H.

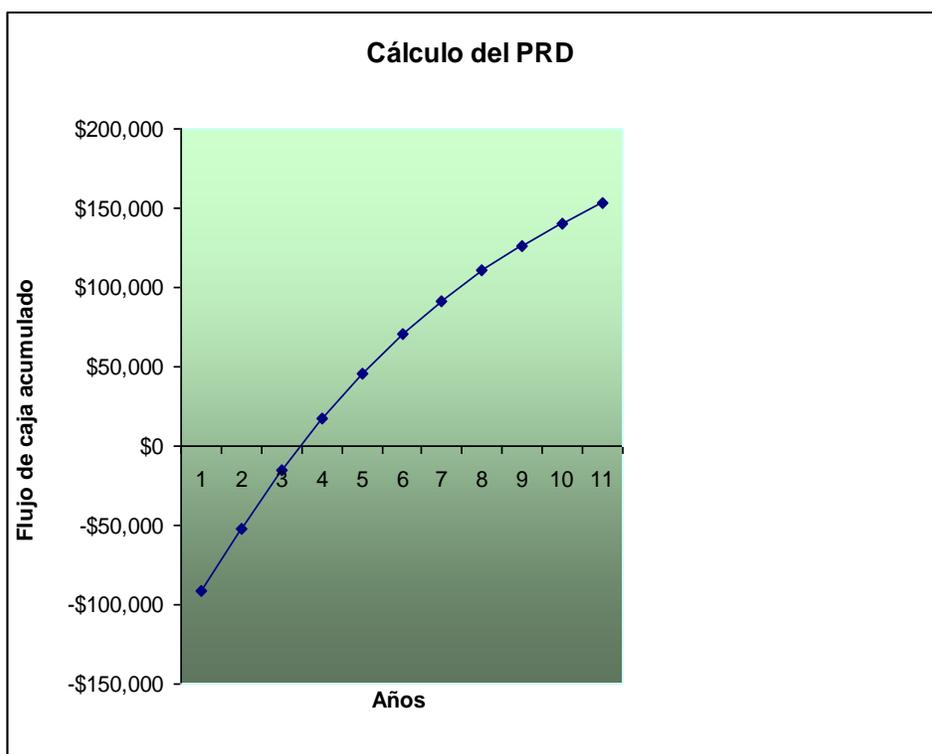


Figura 3.7. Comportamiento de los indicadores económicos al disminuir el precio del asfalto

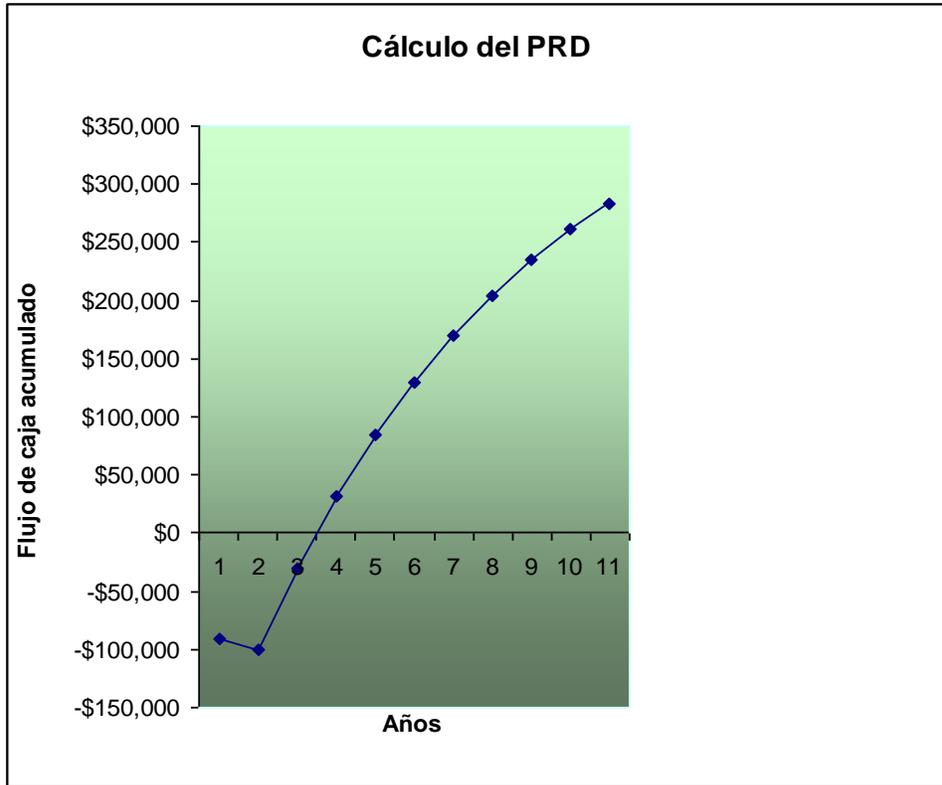


Figura 3.8. Comportamiento de los indicadores económicos al aumentar el 20% del costo de la materia prima.

Conclusiones Parciales.

1. Fue diseñado el equipamiento de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales así como, para los sólidos que se generan en la etapa del tratamiento con alúmina, según la normas de diseño y los datos obtenidos de los balances de masa.
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, y utilizar los residuos sólidos del tratamiento en la producción de asfalto.
3. Se realizó una valoración del impacto ambiental basándose en la matriz de Conesa después de implementado el sistema de tratamiento de residuales en el que se demostró que los factores quedan en el rango de irrelevante y moderado.
4. Del análisis económico de la propuesta de la inversión, según los valores obtenidos para el VAN \$320 253.59 y un TIR de 98.3 %, se concluye que la implementación de estas medidas, son viables desde el punto de vista económico, y su inversión se recuperará en menos de 2 años.
5. El análisis de sensibilidad demostró se pueden aceptar variaciones hasta un aumento del 20 % del costo de la materia prima y una disminución hasta el 20 % del precio del asfalto.

Conclusiones Generales.

1. En este trabajo se propone una alternativa de tratamiento para los residuales líquidos, tóxicos y peligrosos generados en la planta de Aceites Básicos de la refinería Sergio Soto de Cabaiguán, que consta de los procesos de neutralización, separación-flotación y ultrafiltración con membrana, mediante el cual, se logra la recirculación del agua al proceso, el aprovechamiento de los residuos sólidos generados en la producción de asfalto, así como, la minimización de 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 flujo, los cuales condujeron al diseño tecnológico del equipamiento fundamental del tratamiento propuesto.
3. Para el tratamiento de los gases generados en la planta de Aceites Básicos se propone la tecnología de Biofiltros específicamente de lecho fijo.
4. La comparación de la matriz de impacto ambiental antes y después de la propuesta del tratamiento demuestra la disminución de la importancia absoluta y relativa de los impactos hasta valores considerados irrelevantes.
5. Se demuestra la factibilidad económica del sistema de tratamiento propuesto, pues se obtiene un Valor Actual Neto (VAN) de \$ 320 253.59, una Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) de 98.3 %, y un Período de Recuperación menor de dos (2) años. Los ingresos obtenidos están dados por las externalidades, el ahorro en la reutilización del agua y al aumento de la producción y venta de asfalto debido a que los residuos sólidos oleosos pueden ser aprovechados como materia prima en dicho proceso.
6. El análisis de sensibilidad demostró que se pueden aceptar variaciones hasta de un aumento del 20 % del costo de la materia prima y una disminución hasta del 20 % del precio del asfalto.

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 el estudio para la implementación del tratamiento propuesto a los gases generados en la Planta de Aceites Básicos.

Bibliografía

1. Aharon, N. (2005): Ozone Technology and Applications. Handbook.
2. Ahmed, AF. (2007): Hazard. Mater. 141, 557-564.
3. Ancízar, M. (2011): Biofiltración de Efluentes Gaseosos.
4. Beltrán de Heredia, J. (1992). Ozonización de colorantes ácidos. Estudio cinético.
5. Bennett and Franklin. (1986): Statistical analysis in chemistry and the chemical industry, Wiley and Sons New York.
6. Bogomolov, I. A. (1985): Química del Petróleo y Gas. Ed. MIR.
7. Cárdenas, B. (2003): Tratamiento Biológico de compuestos orgánicos, Volátiles y de Fuentes Fijas.
8. Celma, J. (1990): Introducción a la gestión de residuales industriales tóxicos.
9. Chemical Ingeniering. (2012): Biodegradación Mediante el uso de Células Libres.
10. Conesa, V. (2000): Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental Ediciones Mundi – Prensa.
11. Cui, JY. (2008): Membranas. Ciencia. 325, 420-426.
12. Díaz, R. (1987): Tratamiento de aguas y aguas residuales.
13. Domínguez, E. (1996): Análisis de alternativas de inversión en la Industria Química.
14. Erij, V. (1988): Química y tecnología del petróleo y del gas. Editorial Mir Moscú.
15. Eskel, C. (1990): Tratamiento de agua para la Industria y otros usos, Tomo I, II.
16. Folleto. (2006): Procedimiento para la operación de la Planta de Aceites Básicos.
17. Harben, P. (1998): The industrial handbook: a guide to markets, specification and price. London editorial.
18. Hayat, S. (2002): Samiullah. Bioresour. Technol. 84, 159-163.
19. Higa, L. (2004): Tratamiento biológico de líquidos residuales. Buenos Aires. Argentina.
20. Historia del Centro. (1990): Empresa Refinadora de Petróleo de Cabaiguán.
21. Hoffmann, M. (1996): Application of Ultrasonic Irradiation for the Degradation of Chemical Contaminants in water, Ultrasonics Sonochemistry, vol 2.
22. <http://www.radiocabaiguan.co.cu/Esp/Noticias/Avances.htm> (19/01/10)

23. <http://www.aguayaire.com/WPT.pdf> : Plantas de tratamiento de aguas residuales
24. http://es.wikipedia.org/wiki/Aguas_negras. Aguas negras (2008).
25. <http://www.ssvsa.cl/guiaresi.htm> Guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos. Ministerio de salud. Servicio de salud. Valparaíso.
26. Instrucción. (1986): Refinería “Sergio Soto”, Instrucción para el puesto de trabajo. Análisis químico del petróleo y químico analista.
27. 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.
28. Kern, D. (1979): Procesos de transferencia de calor. Edición Revolucionaria.
29. Kraus, R. (2001): Proceso de refinado de petróleo. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, Vol. III, Cap. 78. Organización Internacional del Trabajo,
30. Kriipsalu, M. (2007): Biochem. Eng. J.72, 48-53. Manual de Gestión de residuos peligrosos. NTP. Htm. Universidad de Salamanca.
31. Li, Q.X. (2005): Procesar Biochem. 40, 873 -877.
32. Lin, A. G. (2006): Tratamiento de Aguas Industriales. . 26 ,5-8.
33. López, S. (2009): Obtención de Aceite Transformador a partir de Crudos Cubanos. Trabajo de Diploma presentado en opción al título de Ingeniero Químico. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”. Ciudad de La Habana.
34. Machin – Ramírez. (2008): Chemosphere 70, 737.
35. Marrero, M. (1989): Sobre la exploración y producción de petróleo en Cuba.
36. Maxwell, D. (1978): Date Book on hidrocarbons, D.Van Nostrand Company Inc.
37. Metcalf. & Eddy. (2004): Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Copyright por MncGrau-Hill, Inc. Depósito legal: M 38.347-2000. (tercera edición en español).
38. Moosai, R. (2003): Septiembre Purif. Technol. 33 ,303-314.
39. Muñoz, R. (2013): Tratamiento de Olores. .
40. NC 41.07: Determinación del contenido de humedad y pH.

41. NC 27:1999: Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado.
42. Pavlov, K. (1981): Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química. Editorial Mir, Moscú.
43. Pérez, B. (2005): Proyecto 2704. Mejoramiento de la calidad del aceite transformador producido en la refinería Sergio Soto. Etapa 01. CEINPET.
44. Perry. (1984): Chemical engineering Hand book. Edición Revolucionaria. Tomo 1. La Habana.
45. Peters, M. (1991): Plant and Design and Economics for Chemical Engineers, McGraw – Hill, Inc. 4th Edition.
46. Poleo, E. (2013): Journal of Hazardous Materials, Volumes 254–255,
47. Ramírez, C. (1992): Tratamiento de aguas residuales Industriales. UNAM.
48. Reyes, O. 2011): Modificación Tecnológica de la instalación de tratamiento de las aguas residuales de la Refinería de Aceite Eraso. Tecnología Química .Vol. XXXI, No. 1.
49. Rosabal, J. (2006): Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas 3^{ra} Edición Felix Varela.
50. Sarfaraz, MV. (2012): Chem. Eng. Res. Des. 90, 1642-1651.
51. Serrano, C. (2006): Protección ambiental y producción + limpia.
52. Song, C.W. (2006): Septiembre Purif. Technol. 51, 80 -84.
53. Ulrich, G. (1986): Diseño y economía de los procesos de Ingeniería Química, Nueva editorial interamericana S. A. México.
54. Verde, R. (1982): Tecnología moderna del petróleo en Cuba. Editorial Científico Técnico.
55. Water science and technology. (2003) vol – 47.
56. Yang, Y.J. (2011): Corros. Prot. Petroquímica. Ind. 23 , 1-4
57. Zhang, YQ. (2009): Septiembre Purif. Technol. 70, 153-159.

Anexo B .Características del Aceite Transformador.

Características	Unidad de medida	Limite	Requisito		Método de Ensayo
Físicas					
1.Pto de Anilina	°C	máximo		84	D 611
2.Color ASTM		máximo		1.0	D 1500
3. Temp. Inflamac. CA	°C	mínimo		145	D 92
6.Densidad Relativa, 15°C/15°C		máximo		0.91	D 1298
8.Aspecto			Claro y Brillante		D 1524
9-Viscosidad a100° C	cst			3	D445
Químicas					
9.Estab.Oxidación Prueba Lodo Acido					D 2440
.% Lodo	%m/m	máximo		0.1	
.N°Acidez	mg KOH/mg	máximo		0.3	
10.Azufre Corrosivo			NO Corrosivo		D 1275
11.Cont. Agua	ppm	máximo		35	D 1533
12. No. Neutralización, (No.T.A	mg KOH/mg	máximo		0.03	D 974
Eléctricas					
13.Ten de Ru Eléctrica a 60 Hz					
-Electrodo Disco	kV	mínimo	30	30	D 877

Anexo C. Especificaciones de Calidad de PCP.

 Dirección Técnica	MINISTERIO INDUSTRIA BASICA UNION CUBAPETROLEO	Cód.: DT-GC/C 0702 Rev.: 01 Pág.: 2 de 61
	MANUAL DE GESTIÓN DE LA CALIDAD <i>Especificaciones de productos combustibles</i>	

PRODUCTO: PET. COMB. PESADO BV					CODIGOS:	
PET. COMB. PESADO AV					2251010016	
					2251010022	
ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO						
INDICES CALIDAD	DE	U/M	METODO DE ENSAYO	VALOR ESPECIFICADO		
				BAJO VANADIO	ALTO VANADIO	LIM
1-VISCOSIDAD A 50 °C		mm ² /s	ASTM D 445,	400-650 (1)		máx
2-AZUFRE TOTAL		% m/m	NC ASTM D 93	3.5		mín
3-TEMP. DE INFLAMACION	DE PM	°C	ASTM D 482	+16		máx
CC		°C	ASTM-D	0.10 (4)		máx
4-TEMPERATURA FLUIDEZ		% m/m	189, D 4530	15.0		mín
5-CENIZAS		% m/m	ASTM-D	9500		máx
6-CARBON CONRADSON		kcal/kg	240, D 4868	0.9959		mín
		g/cm ³	ASTM-D	10.5		máx
		°API	1298, D5002	1.5		máx
		% v/v	ASTM-D	0.10 (2)		máx
7VALOR CALORICO NETO		% m/m	1298, D 287	12.0 (3)		máx
8-DENSIDAD A 15 °C		% m/m	NC ASTM D 95	80		
9-GRAVEDAD A 15 °C		ppm	ASTM D 473	10478		
10-AGUAPOR ESTILACION			ISO 10307-2			
11-SED. POR EXTRACCION			IP 143/ ASTM			

12-SED.TOTAL 13- ASFÁLTENOS					
15- VANADIO 16- SODIO	ppm ppm	ASTMD5863, D5708(5),	180 40	400 60	máx máx
USOS:	COMBUSTIBLE DE USO GENERAL EN HORNOS Y CALDERAS INDUSTRIALES, ASÍ COMO EN MOTORES DE GENERACIÓN ELECTRICA.				
ENVASE Y ALMACENAMIENTO:	ENTREGA A GRANEL. ALMACENAMIENTO EN TANQUES SUPERFICIALES O SOTERRADOS.				
PELIGROSIDAD:	LIQUIDO COMBUSTIBLE. EVÍTESE EL CONTACTO CON LA PIEL.				
OBSERVACIONES: (1) PARA ENTREGAS AL NIQUEL LA VISCOSIDAD MÁXIMA SERÁ 450. (2) MONITOREAR COMPORTAMIENTO CON UNA FRECUENCIA MENSUAL COMO MÍNIMO. PARA ENTREGAS A GRUPOS ELECTRÓGENOS EL VALOR ÓPTIMO ES 0.10 máx. (3)PARA ENTREGAS A GRUPOS ELECTRÓGENOS EL VALOR ÓPTIMO ES 8.0 máx. (4) PARA ENTREGAS A GRUPOS ELECTRÓGENOS EL VALOR ÓPTIMO ES 0.05 máx. (5) MÉTODO ALTERNATIVO : ASTM-D 1548					

Anexo D. Especificaciones de Calidad del Asfalto

 Dirección Técnica	MINISTERIO INDUSTRIA BASICA UNION CUBAPETROLEO		Cód.: DT-GC/P 0703 Rev.: 01 Pág.: 26 de 57			
	MANUAL DE GESTIÓN DE LA CALIDAD <i>Catálogo de especificaciones de productos combustibles</i>					
PRODUCTO: CEMENTO ASFÁLTICO 50/70 CEMENTO ASFÁLTICO 85/100 CEMENTO ASFÁLTICO 150/200			CODIGOS: 2259030002 2259030004 2259030006			
ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO						
INDICES DE CALIDAD	U/M	METODO DE ENSAYO	VALOR ESPECIFICADO			
			50/70	85/100	150/200	Lim
ENSAYOS AL LIGANTE	1/10	ASTM D	50-70	85-100	150-	-mín
1- PENETRACION A 25 °C, 100 g / 5s	mm	5	100	100	200	mín
2- DUCTILIDAD A 25 °C	cm	ASTM D 113	50	Reportar	100	mín
3- TEMP. DE ABLANDAMIENTO	°C	36	230	230	Reportar	mín
4- TEMP. DE INFLAMACION	°C	ASTM D 36	1.000	1.000	230 (1)	mín
5- PESO ESPECIFICO	-	NCASTM	99,0(2)	99,0(2)	1.000	-
6-SOLUB. TRICLORO ETILENO	%	D 92	Reptar	Reportar	99,0(2)	-
7- VIS. CINEMÁTICA A 135 °C	m/m	ASTM D 70	Reptar	Reportar	Reportar	-
ENSAYOS AL LIGANTE ENVEJECIDO		ASTM D 2872	1.0	1.0	2.0	máx
1 - PERDIDA DE MASA, 85 min, 4 L/min, 163°C.	%	ASTM D 2042	1.0	1.0	2.0	máx
2 - PENETRACIÓN RETENIDA	m/m	ASTM D 50(3)	52(3)	Reportar	Reportar	mín
3 - DUCTILIDAD RETENIDA A 25 °.		ASTM D 2170, D 88	50(3)	Reportar	Reportar	mín

USOS:	PREPARACION DE HORMIGONES ASFALTICOS.
ENVASE Y ALMACENAMIENTO:	ENTREGA A GRANEL EN MEDIOS DE TRANSPORTACIÓN CON DISPOSITIVOS DE CALENTAMIENTO (175 °C máx). ALMACENAMIENTO EN TANQUES SUPERFICIALES CON DISPOSITIVOS DE CALENTAMIENTO (135-165 °C). TEMPERATURA MAXIMA 220 °C)
PELIGROSIDA	LIQUIDO COMBUSTIBLE. VERTER SOLO EN RECIPIENTES SECOS.
<p>BSERVACIONES:</p> <p>(1) PARA SU UTILIZACION COMO IMPERMEABILIZANTE SE REQUIERE UN VALOR DE 275 °C MINIMO.</p> <p>(2) EXCEPCIONALMENTE SE PERMITIRÁ EL USO DEL TETRACLORURO DE CARBONO DURANTE 2009, CON LAESPECIFICACIÓN DE 99.5 % m/m mín, PARA TODOS LOS GRADOS.</p> <p>(3) ESPECIFICACIONES EXPERIMENTALES DURANTE 2009.</p> <p>(4) CÁLCULO DEL INDICE DE PENETRACIÓN SEGÚN NC 253:05: $IP=(20 - 500 A) / 1+50 A$; $A=(\text{LOG}800 - \text{LOG } P) / \text{TAB}-T$; DONDE: A: SUSCEPTIBILIDAD LOGARÍTMICA DE LA PENETRACIÓN A LA TEMPERATURA ; P: PENETRACIÓN DEL ASFALTO A LA TEMPERATURA T; T: TEMPERATURA A LA QUE SE DETERMINÓ LA PENETRACIÓN Y TAB: TEMPERATURA DE ABLANDAMIENTO.</p>	

Anexo E. Ensayos realizados al residual sólido al mezclarse con el crudo y con fuel oil.

Resultados de la mezcla del residual sólido con las diferentes muestras.

Fuel oil. ml	Cantidad residual (g)	Valores Obtenidos.
50	0.5	Se Mezcla. Parámetros fuera de calidad
100	0.5	Se Mezcla. Parámetros fuera de calidad
150	10	Se Mezcla. Parámetros fuera de calidad
1000	20	Se Mezcla. Parámetros fuera de calidad
1500	30	Se Mezcla. Parámetros fuera de calidad
Crudo. ml	Cantidad residual (g)	Valores Obtenidos.
50	0.5	No se Mezcla
100	10	No se Mezcla
150	20	No se Mezcla
1000	30	No se Mezcla
1500	40	No se Mezcla
Asfalto. ml	Cantidad residual (g)	Valores Obtenidos.
50	0.5	Se Mezcla. Parámetros en calidad
100	0.5	Se Mezcla. Parámetros en calidad
150	10	Se Mezcla. Parámetros en calidad
1000	20	Se Mezcla. Parámetros en calidad
1500	30	Se Mezcla. Parámetros en calidad

Anexo G. Impactos Ambientales Generados en la Planta de Aceites Básicos.

Actividad	Acciones Impactantes	Impacto Ambiental
Proceso de Producción	Desfavorables condiciones ambientales en las áreas	Afecta la salud de los trabajadores
	Posible ocurrencia de averías	Riesgo de incendio y accidentes
	Generación de residuales líquidos	Contaminación del medio ambiente
	Generación de residuales sólidos	Contaminación del medio ambiente
	Consumo de portadores energéticos	Agotamiento de los recursos naturales
	Consumo de agua	Agotamiento de los recursos naturales
	Emisiones de gases contaminantes	Afectación del medio ambiente a los trabajadores de la empresa así como a los de la comunidad

Anexo H. Comportamiento de los indicadores económicos.

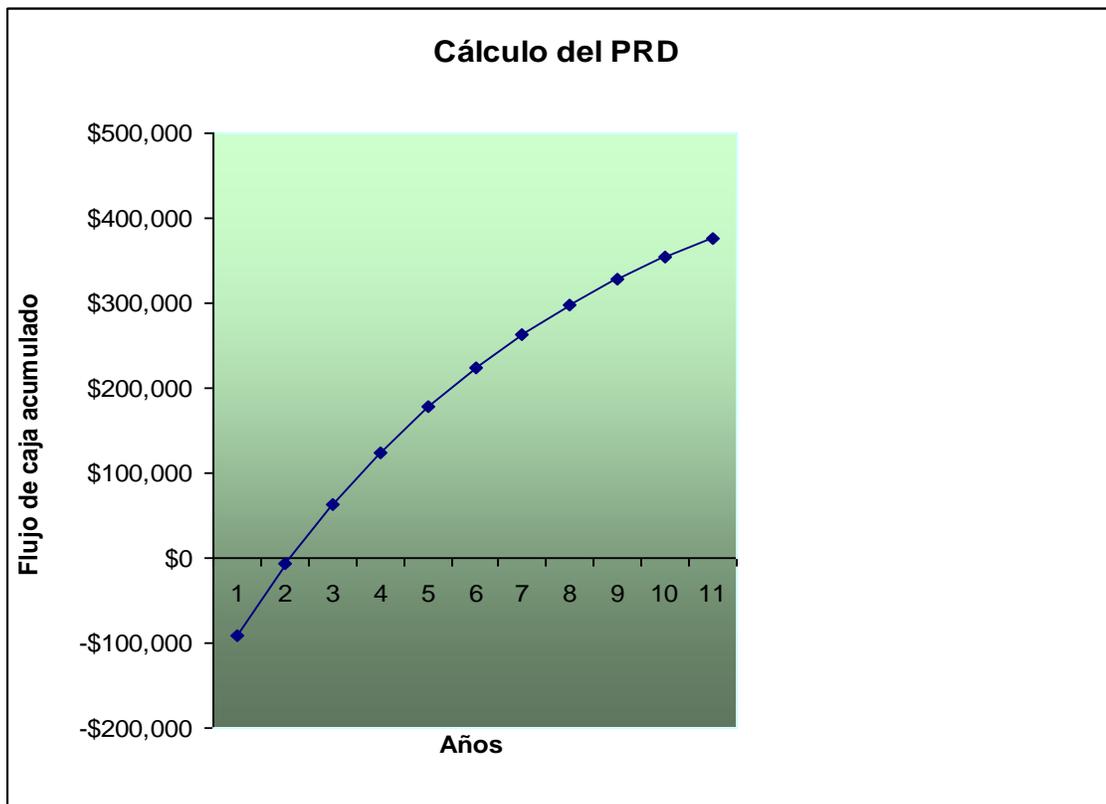


Figura 1. Comportamiento de los indicadores económicos al disminuir el 10 % de la materia prima.

Anexo H. Comportamiento de los indicadores económicos.

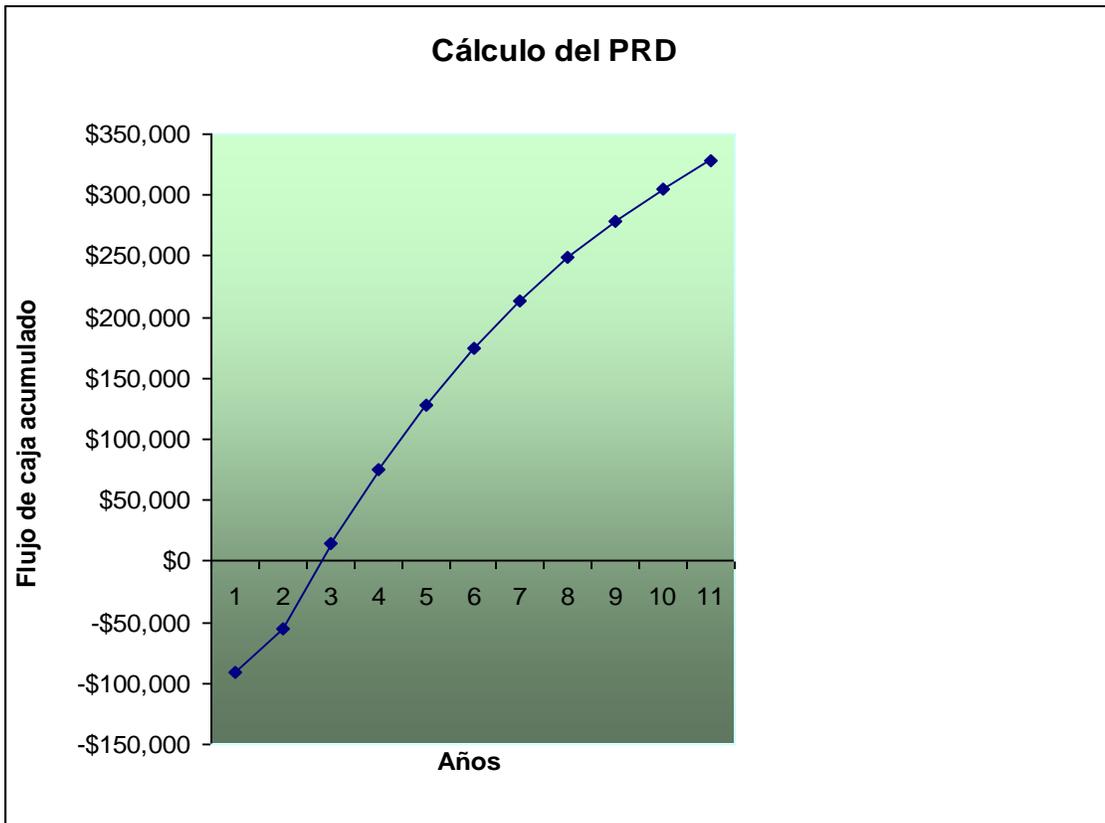


Figura 2. Comportamiento de los indicadores económicos al aumentar el 10 % de la materia prima.

Anexo H. Comportamiento de los indicadores económicos.

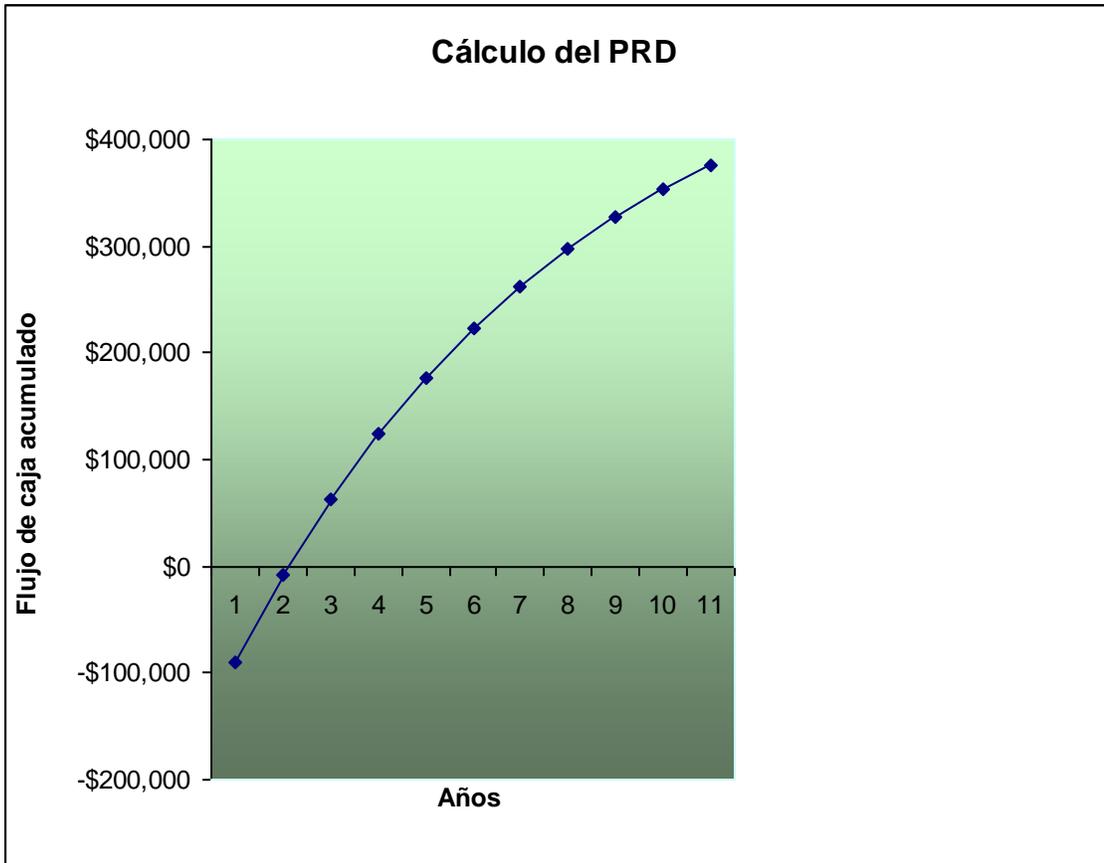


Figura 3. Comportamiento de los indicadores económicos al disminuir el 20 % de la materia prima.

Anexo H. Comportamiento de los indicadores económicos.

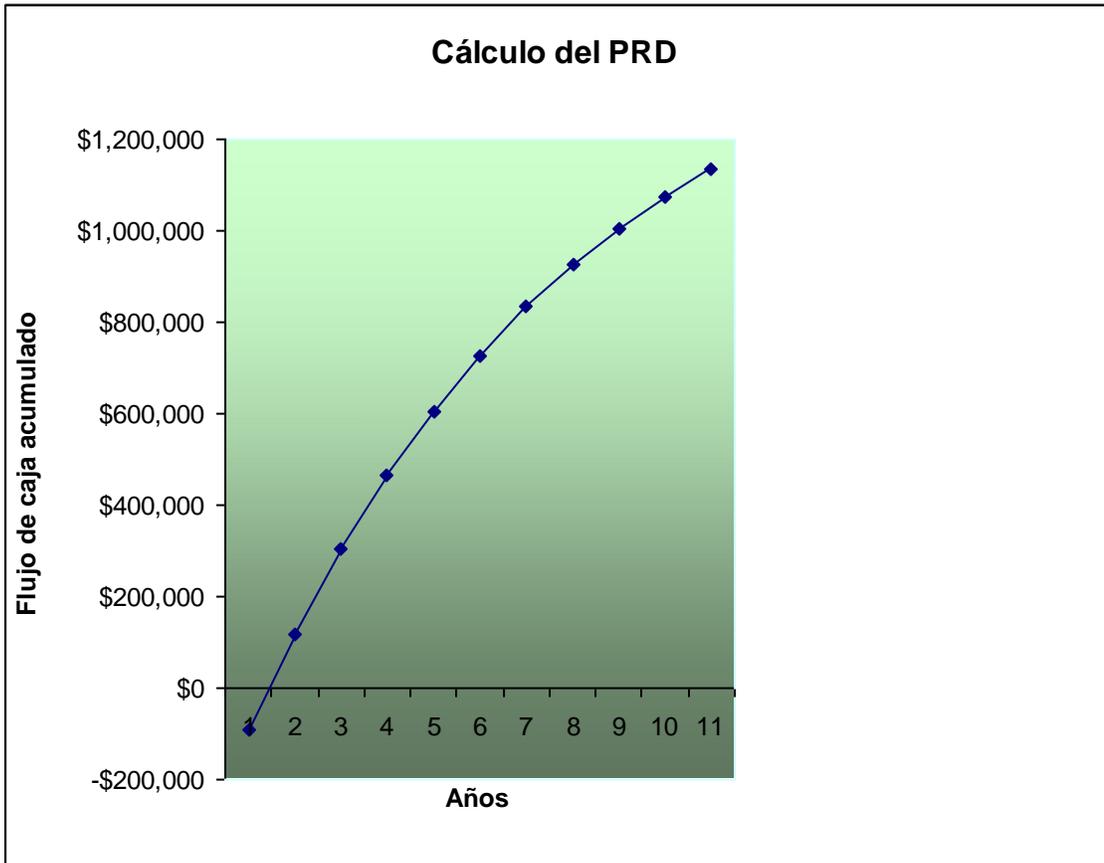


Figura 4. Comportamiento de los indicadores económicos al aumentar el precio del asfalto

Anexo I. Análisis de la Varianza.

Tabla 1. Efectos estimados para el rendimiento.

Efectos Estimados	
Promedio	56.2037
A:dil	47.5925
B:Alúmina	22.5925
AB	0.0975

Tabla 2. Análisis de varianza.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Razón F	Valor -P
A:dil	4530.09	1	4530.09	1545.03	0.0000
B:g alúmina	1020.84	1	1020.84	348.17	0.0000
AB	0.0190125	1	0.0190125	0.01	0.9397
Total error	11.7282	4	2.93204		
Total (corr.)	5562.68	7			

R-cuadrado = 99.7892 %

R-cuadrado (ajustado para g.l) = 99.6301 %

Error estándar de estimación = 1.7123

Error absoluto medio = 1.00875

Estadística de Durbin-Watson = 3.04731 (P=0.7694)

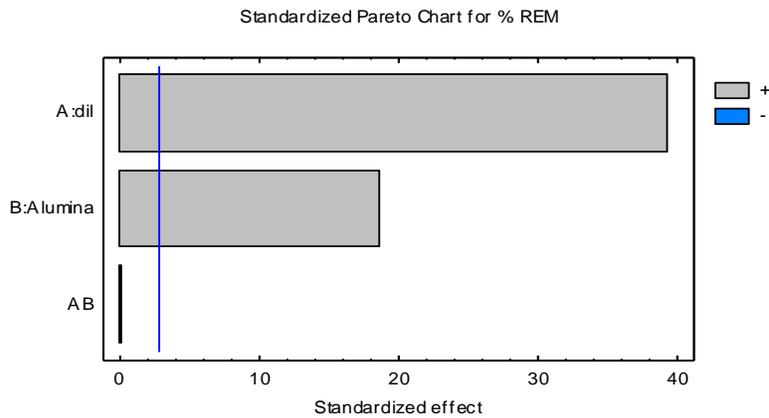


Figura 5. Significación de las variables analizadas sobre % DRE.

Tabla 3. Coeficientes de regresión

Parámetros	Valores
Constante	-70.935
A:dil	4.7105
B:g alúmina	44.6
AB	0.039

$$\% DRE = -70.935 + 4.7105 \cdot \text{dil} + 44.6 \cdot \text{Alumina} + 0.039 \cdot \text{dil} \cdot \text{Alumina}$$

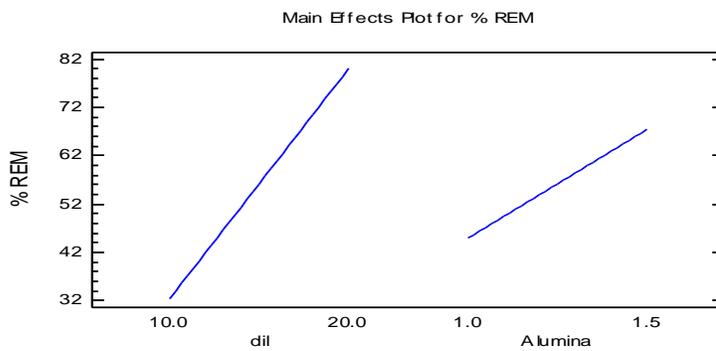


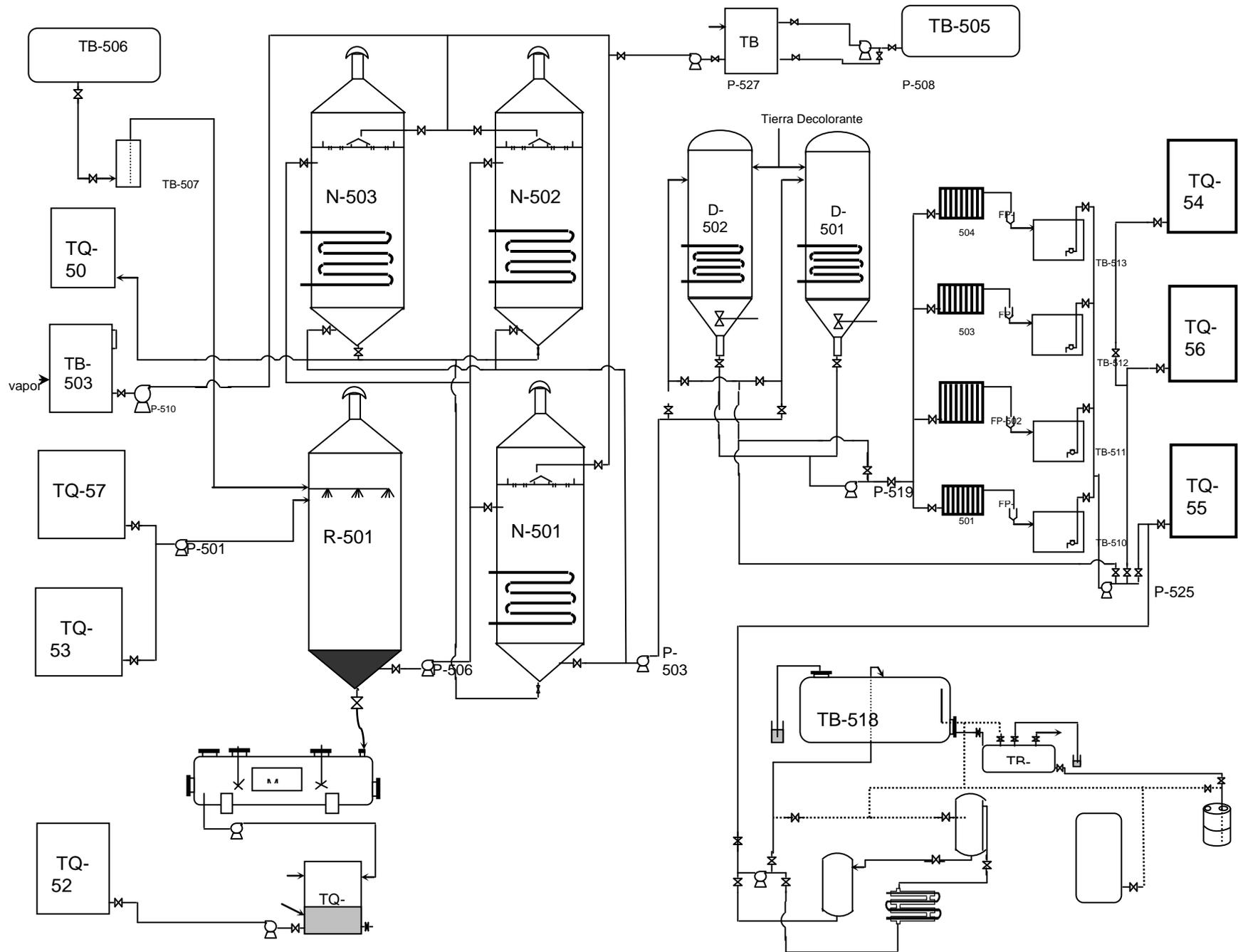
Figura 6. Efectos de las variables analizadas sobre % DRE.

Anexo J .Especificaciones de calidad de la materia prima para Aceite Transformador.

Características de la materia prima para Aceite Transformador.

Índice	Valor
Viscosidad cinemática a 40 °C	12 cSt máximo
Densidad a 15° C	0,92 g/cm ³ máximo
Temperatura de inflamación	135°C mínimo
Color	2,5 máximo

Anexo A. Diagrama de Flujo Planta De Aceites Básicos.



Anexo F. Diagrama de Bloques Planta de Aceites Básicos.

