

**ESTUDIO DE VIABILIDAD SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE ACEITES
LUBRICANTES DE DESECHO**

JOSÉ LUIS ORTÍZ PACHECO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA**

2012

**ESTUDIO DE VIABILIDAD SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE ACEITES
LUBRICANTES DE DESECHO**

JOSÉ LUIS ORTÍZ PACHECO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:
Ingeniero Químico**

Dirigido por:

**MARIA PAOLA MARADEI GARCÍA
Ingeniera Química, Ph.D.**

MARIA SOLEDAD ALZATE MONCADA

Bacterióloga – Esp. Microbiología Ambiental. SANDESOL S.A. E.S.P.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA**

2012

AGRADECIMIENTOS

A Dios por iluminar mi camino y ser mi guía en todos los momentos de dificultad, por darme la sabiduría, fortaleza y empuje necesario para culminar mi carrera.

A la familia SANDESOL S.A. E.S.P. por darme la oportunidad de realizar mi proyecto de grado con ellos y conocer ese maravilloso grupo de trabajo, les deseo muchos éxitos en todos sus proyectos.

A la profesora María Paola Maradei García, quién fue mi mano derecha en este proyecto de grado, me brindo su apoyo de manera incondicional, sin su ayuda no hubiese sido posible culminarlo de manera exitosa.

A todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Química, grandes personas y profesionales, que compartieron sus experiencias y conocimientos conmigo y de esta manera realizaron significativos aportes a mi formación profesional.

DEDICATORIA

A mi padre y a mi madre, grandes personas que siempre han sido un gran ejemplo a seguir y han deseado grandes éxitos para mí.

A mis hermanas Adriana, quien además es colega y ha sido incondicional toda mi vida, compañera de risas y lágrimas y Laurita la niña de la casa que siempre me hace sonreír con su inocencia, dulzura y alegría.

A mi hijo Alejo, que con sus travesuras alegra mi vida, deseo ser gran ejemplo para él.

A ellos les debo lo que soy, y este triunfo es para ellos.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. CONCEPTOS TEÓRICOS	16
1.1 ACEITE LUBRICANTE	16
1.2 ACEITE LUBRICANTE USADO	16
1.2.1 Principales Contaminantes.	17
1.2.2 Factores de Deterioro	19
2. METODOLOGÍA	20
3. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO O DISPOSICION FINAL DE ACEITES USADOS	22
3.1 DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS	22
3.1.1 Quema Directa	22
3.1.2 Recuperación.	22
3.1.3 Reprocesamiento o Regeneración	23
3.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO	23
4. DIAGNOSTICO DE OFERTA Y DEMANA DE ACEITE USADO	24
4.1 CONSUMO DE ACEITES LUBRICANTES EN COLOMBIA	24
4.2 DIAGNÓSTICO DE LA OFERTA DE ACEITE USADO	27
4.3 DIAGNÓSTICO DE LA DEMANDA DE ACEITE USADO	29
5. PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES USADOS	32
5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	33
5.1.1 Separación Gravimétrica Aceite-Agua	34
5.1.2 Filtración Gruesa.	34
5.1.3: Secado y Acondicionamiento de Aceite.	34
5.1.4 Filtración Fina y Purificación	35
5.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN	35
6. EVALUACIÓN FINANCIERA	37

CONCLUSIONES	42
RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFIA	44
ANEXOS	48

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Contaminantes presentes en aceites usados	18
Tabla 2 Características de los aceites usados en Colombia	18
Tabla 3. Porcentajes para mezcla y límites máximos de contaminantes en aceites usados tratados	32
Tabla 4. Consumo Energético de la Planta	37
Tabla 5. Gastos en Recursos Humanos	38
Tabla 6. Cuota Fija Mensual de Crédito	38
Tabla 7. Tasa de Amortización	39
Tabla 8. Evaluación Financiera del Proyecto	40

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Reacción de oxidación de Hidrocarburos.	19
Figura 2. Metodología empleada para la realización del trabajo.	20
Figura 3. Ventas históricas de Lubricantes – Nacionales y Exportaciones	26
Figura 4: Participación Ventas Nacionales Lubricantes por Tipo 2010	27
Figura 5: Disposición de Aceites Usados en Colombia	28
Figura 6: Disposición de Aceites Usados en Colombia-Promedio mensual por zona geográfica.	29
Figura 7. Demanda de derivados de petróleo en Colombia	30
Figura 8: Proyección de demanda derivados de Petróleo en Colombia	31
Figura 9: Esquema planta de tratamiento de aceite usado	33

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A: Normatividad	48
ANEXO B: Procesos comúnmente utilizados en tratamiento de aceites usados.	50
ANEXO C: Cifras para obtención de figuras capítulo 4.	58
ANEXO D: Conversiones de unidades	62
ANEXO E: Cotizaciones de equipos	64

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO DE VIABILIDAD SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE ACEITES LUBRICANTES DE DESECHO*

AUTOR: José Luis Ortíz Pacheco**

PALABRAS CLAVE: Aceite lubricante de desecho, aceite usado, residuo peligroso, manejo adecuado, disposición final, recuperación, regeneración, re-refinación.

DESCRIPCION:

Actualmente, una de las mayores problemáticas a nivel mundial es la constante generación de residuos peligrosos, debido a los daños que causan al medio ambiente y a la salud de las personas, cuando no se les da un manejo y una disposición final adecuada.

Esta situación no es ajena a Colombia, debido a que en el país se generan cerca de 90.300 toneladas anuales de residuos peligrosos, entre los cuales se destaca el aceite lubricante de desecho, el cual presenta el mayor porcentaje de generación con una representación del 28,7% de acuerdo al informe presentado por el IDEAM en 2009.

Ante este panorama, la empresa SANDESOL S.A. E.S.P., ve la necesidad de implementar dentro de sus actividades un proceso de tratamiento para el aceite lubricante usado, razón por la cual se llevó a cabo este proyecto, que busca diseñar e implementar estrategias de manejo y disposición final adecuada para este residuo procurando dar un valor agregado al mismo y evaluando a la vez su viabilidad económica.

Para un adecuado desarrollo del proyecto, en primera instancia se llevo a cabo un análisis de las diversas alternativas de tratamiento y disposición final, con el fin de seleccionar la que representa mayor viabilidad técnico-económica, luego se analizó la oferta y demanda del aceite, para elegir los equipos requeridos y la cantidad mensual de aceite a tratar. Finalmente, se hizo una evaluación financiera, teniendo en cuenta los costos de equipos, consumo energético y recursos humanos, con lo cual se pudo determinar un precio mínimo de venta de aceite usado tratado de \$2.995 por galón, para recuperar la inversión inicial cercana a \$905.000.000 en un período de 5 años. Con esta información SANDESOL S.A. E.S.P. puede estudiar el proyecto y tomar la decisión de llevarlo a cabo, tomando las precauciones necesarias.

* Práctica Empresarial

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Ingeniera Química Ph.D. María Paola Maradei García. Codirector: Bacterióloga: María Soledad Álzate Moncada. SANDESOL S.A. E.S.P.

ABSTRACT

TITLE: VIABILITY STUDY ABOUT THE UTILIZATION OF WASTE LUBRICATING OILS*

AUTHOR: José Luis Ortíz Pacheco**

KEYWORDS: Waste Lubricating Oil, used oil, hazardous waste, appropriate management, final disposal, recovery, regeneration, re-refining.

DESCRIPTION

Currently, one of the most problematic in the world is the constant generation of hazardous waste, due to damage caused to the environment and health of people, when don't give them an appropriate management and correct final disposal thereof.

This situation is no stranger to Colombia, because in the country are generated about 90.300 tons a year of hazardous waste, including the waste lubricating oil or used oil, which has the highest percent of generation with 28,7% in accordance with the report submitted by the IDEAM in 2009. Against this background, the company SANDESOL S.A. E.S.P., charge of carrying out integral management of hazardous waste, sees the need to implement within its activities a treatment process for the used lubricating oil, for that reason this project was carried out, which searches to design and implement management and final disposal appropriate strategies for this waste, seeking to give it added value and evaluating in the same time its economic viability.

For proper development of the project, in the first instance was carried out an analysis of the various alternatives of treatment and final disposal (recovery and regeneration or re-refining), to select which has more technical and economic viability, then an analysis was made of the oil supply and demand to choose the equipment required and the monthly amount of oil to treat. Finally, it was made a financial evaluation, taking into account the costs of investment in equipment, energy and human resources could thus set a minimum selling price of used oil treaty \$ 2.995 per gallon to recover the initial investment to \$ 905.000.000 over a period of 5 years. With this information SANDESOL SA E.S.P. may decide to carry out the project, taking necessary precautions.

* In Field Practice

**Faculty of Physical and Chemical Engineering. Chemical Engineering Department. Director: Maria Paola Maradei García, Ph.D. Co-director: Maria Soledad Alzate Moncada, Bacteriologist. SANDESOL S.A. E.S.P.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una gran problemática que afronta el planeta y es el constante aumento de residuos generados por diversos sectores como el industrial, automotor, hospitalario, doméstico, entre otros, así como el mal manejo y disposición final que se da a los mismos. Por esta razón, uno de los mayores desafíos que tiene la ingeniería para el siglo XXI es desarrollar nuevas y mejores tecnologías de producción, que eviten utilizar sustancias que puedan ser dañinas al medio ambiente, además de implementar estrategias que den solución al mal manejo que existe de residuos, principalmente, los que pueden afectar seriamente la salud de las personas y del medio ambiente.

Colombia no es ajena a esta problemática, debido a que en el año 2009 el país, generó cerca de 90.330,2 toneladas de residuos clasificados como peligrosos según el Convenio de Basileo, Anexo I, aceptado por Colombia por la Ley 253 de 1996 y el Decreto 4741 de 2005 (Ver Anexo A). De esta cantidad de residuos, el de mayor producción está constituido por mezclas y emulsiones de agua e hidrocarburos o aceites y agua con un 28,7%; seguido de los desechos clínicos resultantes de la atención médica prestada en hospitales, centros médicos, clínicas, consultorios odontológicos, laboratorios, clínicas veterinarias, o actividades similares con 12,3%, y en tercer lugar se encuentran los aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados, con 7,9% [1]. Lo anterior indica, que los aceites de desecho formando o no emulsiones con agua, constituyen el principal residuo peligroso que se genera en el país, y por lo tanto, requiere de un adecuado manejo y disposición final.

En este orden de ideas, SANDESOL S.A. E.S.P., empresa encargada de realizar recolección, transporte, tratamiento y disposición final adecuada a residuos peligrosos, ve la necesidad de implementar dentro de sus actividades, un proceso

para dar manejo y tratamiento adecuado a los aceites lubricantes de desecho, más conocidos como aceites lubricantes usados, ayudando así a la disminución de la contaminación del medio ambiente y el daño a la salud, causada por la mala disposición final de este residuo, dada por parte de personas no autorizadas. El principal objetivo de este estudio es la realización de un análisis técnico económico que permita determinar la viabilidad de implementar un proceso que pueda dar una disposición final correcta al aceite usado dentro de las instalaciones de la empresa.

Para lograr realizar el proyecto fue necesario hacer un estudio acerca de la situación actual de los aceites usados en el país, la cantidad de aceite que se genera y el manejo que se le da al mismo. Igualmente, se analizaron las diversas alternativas de manejo que existen, y teniendo en cuenta las etapas implicadas y la situación económica y tecnológica del país.

A partir de este estudio se optó por plantear un proceso de recuperación, en el cual por medio de procesos de limpieza y remoción de contaminantes, se pueda aprovechar el alto poder calórico que tiene el aceite para ser utilizado como Fuel Oil en hornos y calderas.

Finalmente, una vez definido completamente el proceso, se procedió a hacer un análisis económico, evaluando el costo de los equipos que se requieren, su consumo energético y su rendimiento, el costo de la materia prima y de insumos químicos, entre otros gastos, calculando así el precio de venta del producto, y de esta manera, determinando la inversión inicial, la tasa interna de retorno del proyecto.

1. CONCEPTOS TEÓRICOS

1.1 ACEITE LUBRICANTE

El aceite lubricante forma una película entre superficies mecánicas en movimiento, para evitar su contacto directo y de esta manera brindar protección contra el desgaste. Los aceites están formados por una base lubricante, que puede ser mineral (derivada del petróleo, puede clasificarse en parafínica o nafténica, dependiendo de la naturaleza del crudo) o sintética, y un paquete de aditivos, los cuales mejoran las características de dichas bases, aumentando su rendimiento, eficiencia y vida útil. Los aceites lubricantes básicamente cumplen las siguientes funciones: Reducir la fuerza fricción entre las piezas en movimiento, lo cual genera gasto extra en la potencia de los motores; reducir el desgaste de las partes metálicas evitando su contacto durante su movimiento; ayuda a la refrigeración de aquellas partes que están sometidas a elevadas temperaturas; forma un sello en las paredes de los cilindros y pistones para evitar el paso de combustible al cárter y de aceite a la cámara de combustión y reduce la corrosión por medio de un recubrimiento de las piezas metálicas y dispersión de partículas indeseadas que se forman entre las partes en movimiento [2,3].

1.2 ACEITE LUBRICANTE USADO

Se considera que “aceite lubricante usado” es todo aquel aceite lubricante (de motor, de transmisión o hidráulico, con base mineral o sintética) de desecho, generado a partir del momento en que deja de cumplir la función inicial para la cual fue creado. Estos aceites, son catalogados como Residuos Peligrosos (puede causar daños a la salud o al medio ambiente) según el Convenio de Basilea (Anexo I, numerales 8 y 9), el cual fue ratificado por Colombia mediante la Ley 253 de enero 9 de 1996 (Ver Anexo A), requieren una gestión adecuada y responsable

para que se les dé un destino final que garantice la protección de la salud humana, la conservación del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales, debido a que están contaminados con metales pesados y sustancias tóxicas [4, 5].

1.2.1 Principales Contaminantes. Después de realizar su labor, el aceite lubricante adquiere altas concentraciones de metales pesados producto del desgaste del motor o maquinaria que lubricó y por contacto con combustibles. Además de los metales, también se encuentran solventes clorados, hidrocarburos poliaromáticos PHA, bifenilos policlorados PCBs, estos últimos son compuestos altamente cancerígenos principalmente presentes en aceites lubricantes dieléctricos, agua (la cual muchas veces forma emulsiones difíciles de romper), hollín (producto de la quema parcial del hidrocarburo), etc [4, 6,]. Los contaminantes que generalmente están presentes en los aceites usados se nombran en la Tabla 1.

Muchas de estas sustancias causan un efecto nocivo para la salud como el plomo, que envenena el sistema nervioso central y detiene el desarrollo de los niños; el cadmio y el arsénico son potentes agentes cancerígenos, entre otros [7]. Por esta razón se deben implementar estrategias de recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final para aceites usados con el ánimo de disminuir el riesgo que las personas contraigan enfermedades y que el medio ambiente siga contaminado con este residuo. De hecho, este residuo puede afectar seriamente el suelo y fuentes hídricas, al disponerlo en rellenos a cielo abierto, y el aire, al quemarlo de manera indiscriminada sin ningún tipo de tratamiento previo. Las características típicas presentes en estos aceites usados se nombran en la Tabla 2.

Tabla 1 Contaminantes presentes en aceites usados

CONTAMINANTES GENERALMENTE PRESENTES EN ACEITES USADOS		
CONTAMINANTE	ORIGEN	CONCENTRACIÓN (ppm)
Bario	Aditivos detergentes	Menor a 100
Calcio	Aditivos detergentes	1000 - 3000
Plomo	Gasolina plomada - desgaste de piezas	100-1000
Magnesio	Aditivos detergentes	100 - 500
Zinc	Aditivos antidesgaste y antioxidantes	500 - 1000
Fósforo	Aditivos antidesgaste y antioxidantes	500 - 1000
Hierro	Desgaste del motor	100 - 500
Cromo	Desgaste del motor	Trazas
Níquel	Desgaste del motor	Trazas
Aluminio	Desgaste de rodamientos	Trazas
Cobre	Desgaste de rodamientos	Trazas
Estaño	Desgaste de rodamientos	Trazas
Cloro	Aditivos - gasolinas plomadas	300
Silicio	Aditivos	50 - 100
Azufre	Base lubricante - productos de combustión	0,2 – 1,0 %
Agua	Combustión	5 - 10 %
Hidrocarburos livianos	Dilución del combustible	5 - 10 %
PAH	Combustión incompleta	Menor a 1000

Fuente: Manual Técnico Manejo de Aceites Usados

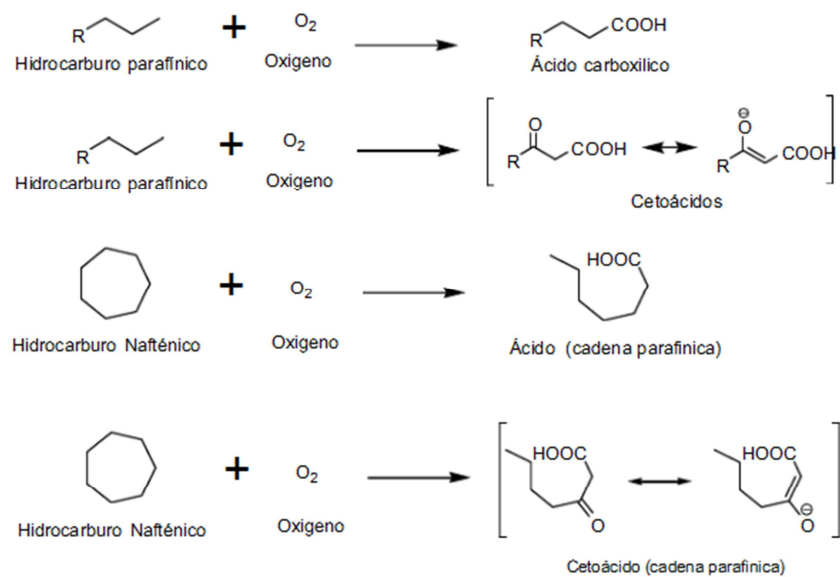
Tabla 2 Características de los aceites usados en Colombia

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS EN COLOMBIA		
CARACTERÍSTICAS	AUTOMOTOR	INDUSTRIAL
Viscosidad a 40°C, SSU	97 - 120	143 - 330
Gravedad a 15,6°C, °API	19 - 22	25,7 – 26,2
Peso específico a 15,6°C	0,9396 – 0,8692	0,9002 – 0,8972
Agua % vol.	0,2 – 33,8	0,1 – 4,6
Sedimentos % vol.	0,1 – 4,2	0,0
Insolubles en Benceno, % en peso	0,56 – 33,3	0,0
Solubles en gasolina, % vol.	2,0 – 9,7	0,0
Punto de ignición °C	78 – 220	157 - 179
Potencia Calorífica, MJ/kg	31,560 – 44,880	40,120 – 41,840

Fuente: Manual Técnico Manejo de Aceites Usados.

1.2.2 Factores de Deterioro. La principal causa por la que se degradan los aceites lubricantes es una reacción de oxidación entre los hidrocarburos y el oxígeno presente en el aire. Esta reacción puede ser acelerada por la presencia de metales, que actúan como catalizadores, y por las altas temperaturas de operación. Los hidrocarburos parafínicos se oxidan por los extremos de la cadena formando ácidos o cetoácidos corrosivos. Por otra parte, en la oxidación de los hidrocarburos nafténicos se rompe la cadena y ocurre un proceso análogo al de los hidrocarburos parafínicos (Ver figura 1) [6,8].

Figura 1. Reacción de oxidación de Hidrocarburos.



Fuente: La industria de la re-refinación de aceite mineral usado en Argentina: Oportunidad de negocios con beneficio ambiental. Universidad del CEMA

2. METODOLOGÍA

Este trabajo se realiza siguiendo una serie de etapas que permiten buscar una alternativa de tratamiento y disposición final de aceite lubricante usado, abarcando el aspecto ambiental, técnico y económico, determinando así su viabilidad como oportunidad de negocio. Ver figura 2.

Figura 2. Metodología empleada para la realización del trabajo.



Primero se realizó una revisión de las diversas alternativas de tratamiento y disposición para aceites usados existentes actualmente, para seleccionar cuál de ellas presenta mejor viabilidad tanto técnica como económica para que la empresa SANDESOL S.A. E.S.P. pueda implementarla dentro de sus actividades comerciales.

Una vez seleccionada la alternativa de tratamiento y su respectivo producto, se procedió a realizar un diagnóstico de la oferta y demanda del mismo, con el objetivo de conocer la cantidad de aceite usado que SANDESOL S.A. E.S.P. podría tratar.

La siguiente etapa del trabajo implicó la selección de equipos de acuerdo al producto que se desea obtener y la cantidad a procesar.

Finalmente, se llevó a cabo un estudio de costos, en el que se tuvo en cuenta la inversión inicial de equipos, su consumo energético, gastos en materia prima (aceite usado) y recursos humanos, para calcular el precio de venta del producto, sus utilidades y el tiempo de retorno de la inversión inicial y de esta manera concluir si el proceso es viable tanto económica como técnicamente.

3. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO O DISPOSICION FINAL DE ACEITES USADOS

Los aceites lubricantes tienen diversas alternativas de reciclaje o reutilización para su correcto aprovechamiento y disposición final, de manera que no afecte drásticamente el medio ambiente y la salud de las personas.

3.1 DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS

Las alternativas de tratamiento o disposición final dependen del producto que se quiera obtener y de la complejidad y costo del tratamiento a utilizar. Básicamente consisten en emplear el aceite como combustible con o sin tratamiento previo o en su regeneración para recuperar las bases y elaborar nuevos aceites lubricantes.

3.1.1 Quema Directa. Puede emplearse como combustible sin ningún tratamiento previo, solamente en hornos, quemadores, que operen a elevadas temperaturas (mayores a 800°C) para asegurar la destrucción de material orgánico. Deben tener un control de emisiones para asegurar que realmente se haga destrucción de estos compuestos. Su mayor aplicación es en hornos Clinker para la elaboración de cemento (opera a temperaturas entre 1.000-1.200°C) [9, 10, 11].

3.1.2 Recuperación. Consiste en realizar remoción de contaminantes como sólidos y agua, a través de procesos físicos como calentamiento, filtración, decantación, deshidratación y centrifugación, empleados para recuperar los aceites y aprovechar su poder calórico utilizándolo como combustible industrial tipo Fuel Oil. Se pueden obtener combustibles con mayor grado de pureza y nivel de emisiones similar al del combustible original, pero requiere de un tratamiento más riguroso, incluyendo destilación al vacío (Ver anexo B)[9, 10, 11].

3.1.3 Reprocesamiento o Regeneración. Son procesos de re-refinación dados al aceite, donde no sólo se remueve sólidos y agua, sino también contaminantes como metales pesados, productos de la oxidación, aditivos, etc. Con estos tratamientos se obtienen bases para la elaboración de lubricantes de alta calidad, con características similares a las del producto original. Las operaciones realizadas en estos tratamientos generalmente son tomadas de los procesos estándar de refinación mostradas a continuación [9, 12, 13]:

- Pre-tratamiento y Limpieza: Eliminación previa de una parte importante de los contaminantes del aceite usado, como son el agua, los hidrocarburos ligeros, los lodos, las partículas gruesas, etc. Para ello cada proceso emplea filtración, sedimentación, centrifugación deshidratación, preflash, etc.
- Limpieza: Eliminación de aditivos, metales pesados y lodos asfálticos. Existe gran variedad de tecnologías con sus ventajas y desventajas para esta etapa en las que cada una emplea su propio procedimiento, como adición de ácido sulfúrico seguido de filtración con tierras, adición de sodio líquido y evaporación, extracción con disolventes, etc.
- Destilación al vacío: Se emplea para separar las bases de aceites por diferencia en las temperaturas de ebullición.
- Acabado: El último paso en la re-refinación es un acabado con el cual se mejora la fuerte coloración que presenta. Al igual que en la limpieza, cada tecnología utiliza un sistema diferente como hidrotreatmento catalítico, tierras descolorantes, tratamiento con zeolitas, etc.

3.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO

Analizando las etapas de los diferentes procesos tanto de recuperación como de re-refinación de aceite usado, (Ver Anexo B) se procedió a seleccionar la alternativa de tratamiento que presente mejores condiciones tanto técnicas como económicas para poder ser implementada en SANDESOL S.A. E.S.P.

Los procesos de re-refinación y tratamientos severos de recuperación para aprovechamiento energético, presentados anteriormente, requieren etapas de fraccionamiento dadas principalmente por una destilación al vacío. Debido a los costos de esta etapa y la escasa tecnología presente en el país, se opta por **diseñar un proceso de tratamiento y recuperación de aceite usado para ser empleado como combustible industrial en calderas y hornos**. Se deja abierta la posibilidad de implementar un proceso de re-refinación más adelante, dependiendo de los resultados obtenidos con el proceso de recuperación.

4. DIAGNOSTICO DE OFERTA Y DEMANA DE ACEITE USADO

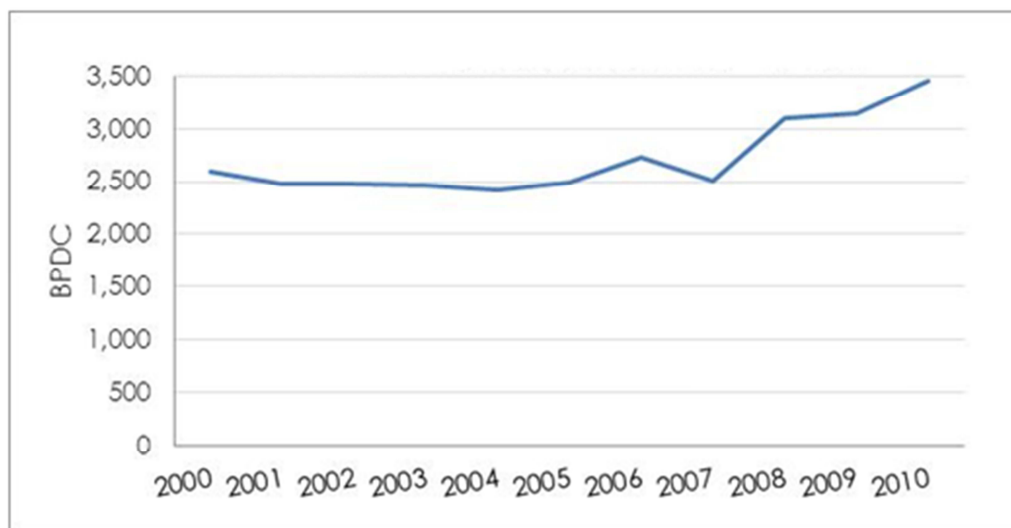
Antes de hacer algún tipo de inversión en equipos y materia prima, es muy importante realizar un diagnóstico de mercado que permita conocer si existe una buena relación entre oferta y demanda del producto, para tener un aproximado de la capacidad de producción de la planta.

En este caso, para conocer la cantidad de aceite lubricante usado que SANDESOL S.A. E.S.P., podría llegar a procesar y transformar en combustible industrial tipo Fuel Oil, se comienza revisando la cantidad de aceite lubricante que se ha consumido en el país en los últimos años, en seguida se examina la cantidad de aceite lubricante usado que se genera a nivel nacional y regional y cuánto de este aceite recibe algún tipo de tratamiento por parte de entidades autorizadas.

4.1 CONSUMO DE ACEITES LUBRICANTES EN COLOMBIA

En la figura 3 aparecen registradas las ventas de aceites lubricantes desde el año 2000 [14]. En ella se puede apreciar un comportamiento de ventas relativamente constante hasta 2008, pues a partir de este año se incluyen las exportaciones, lo que representa un incremento significativo. De acuerdo a esta figura y al constante aumento del parque automotor en Colombia, se espera que el consumo de aceites lubricantes sea cada vez mayor.

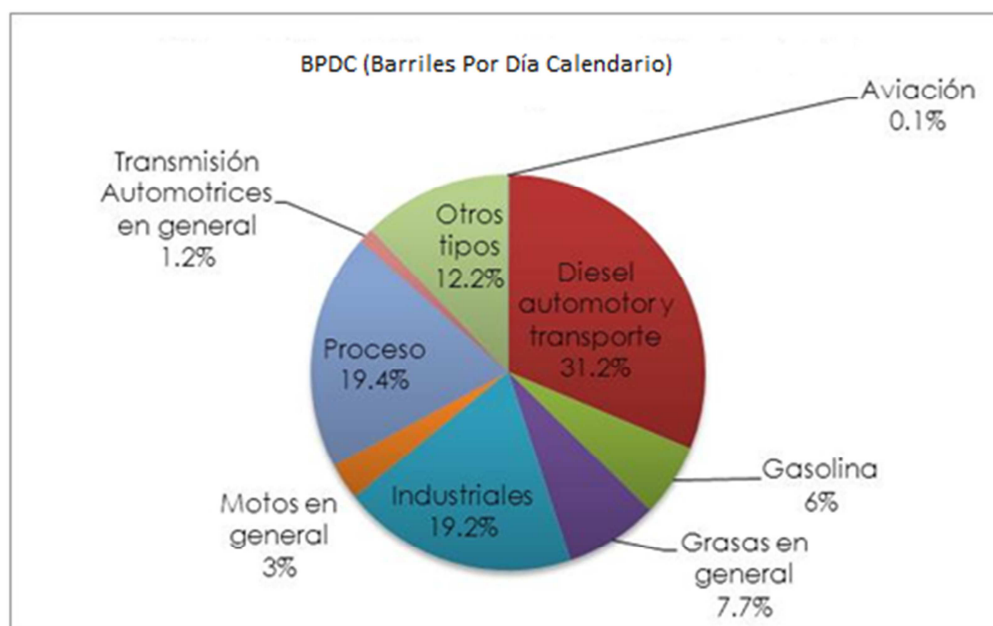
Figura 3. Ventas Históricas de Lubricantes – Nacionales y Exportaciones



Fuente: *Informe Estadístico Petrolero – Asociación Colombiana de Petróleo*

La distribución de los aceites lubricantes de acuerdo a su tipo y su participación en ventas para el año 2010 se muestra en la figura 4. En total se vendieron 38.387 BPDC (Barriles Por Día Calendario) (Ver Anexo C) de aceite lubricante, siendo el aceite empleado en el sector de transporte tanto motores diesel como gasolina, el que representa mayores ventas a nivel nacional, es decir que tienen mayor consumo local lo cual implica que estos tipos de aceite son los que generan mayores cantidades de desecho o de aceite usado [14].

Figura 4: Participación Ventas Nacionales Lubricantes por Tipo 2010



Fuente: Informe Estadístico Petrolero – Asociación Colombiana de Petróleo

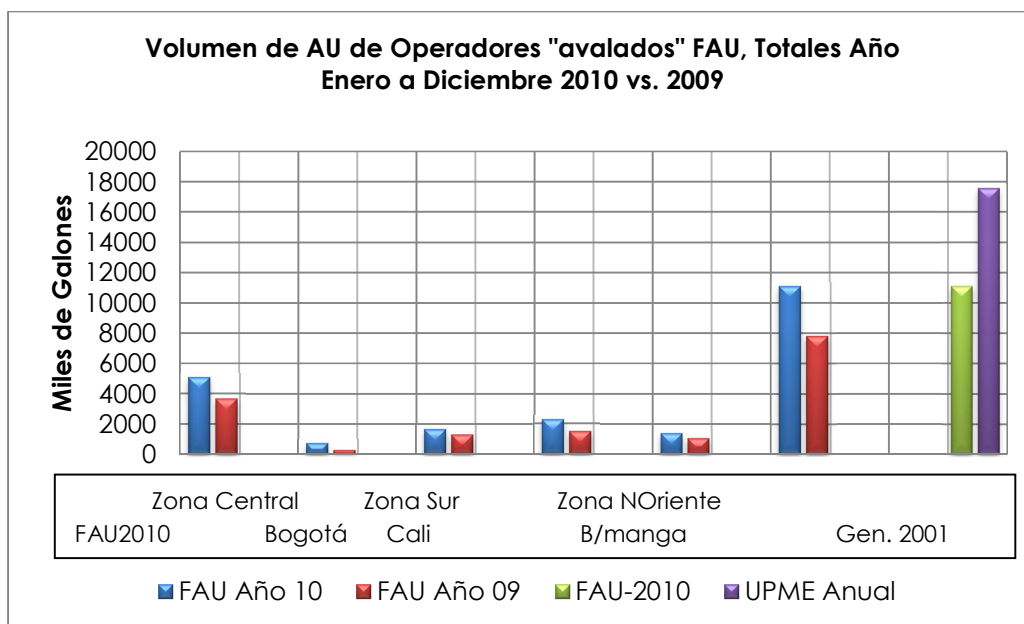
4.2 DIAGNÓSTICO DE LA OFERTA DE ACEITE USADO

El Fondo de Aceites Usados (FAU) es una iniciativa de autogestión ambiental de las siete compañías fabricantes de lubricantes en el país, con la Asociación Colombiana de Petróleo, y su objetivo fundamental es promover e incentivar esquemas de autogestión empresarial con altos estándares ambientales y económicamente sostenibles para dar una adecuada disposición y tratamiento del aceite usado [15].

La figura 5 corresponde al balance nacional del FAU para el año 2010, la cual muestra la cantidad de aceite usado generado y tratado adecuadamente por sus operadores avalados, en esta figura se puede observar que para el año 2010 se logró una cobertura del 63%, es decir se dio disposición y tratamiento adecuado a aproximadamente 11.122.000 galones de los 17.580.000 galones de aceite usado que se generaron en 2001, de acuerdo con datos suministrados por la UPME.

Esta cobertura supera ampliamente la del año 2009, la cual fue del 44,6%. (Ver Anexo C).

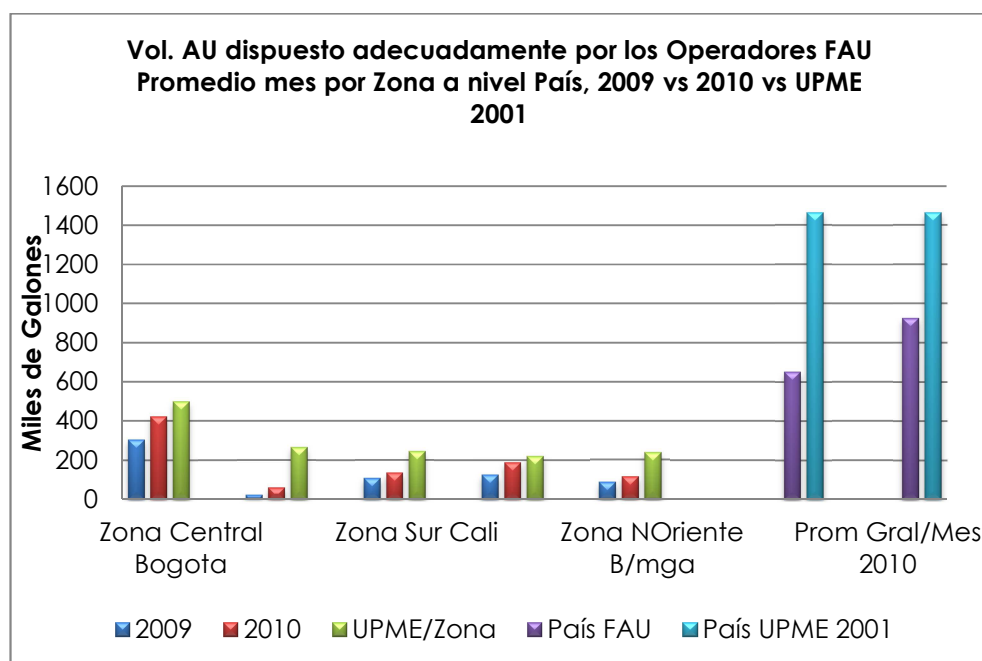
Figura 5: Disposición de Aceites Usados en Colombia



Fuente: Balance Año 2010 – Fondo de Aceites Usados – ACP

La cantidad de aceite usado que aún no recibe tratamiento por regiones presentada en la figura 6. En ella muestra, el promedio mensual recolectado por zona geográfica durante los años 2009 y 2010. A partir de esta figura, se puede concluir que en el 2009, en la zona nororiental, con foco en Bucaramanga, se recogieron mensualmente 89.000 galones, cifra que para el siguiente año aumentó a 116.000 galones. Sin embargo, esta cantidad solamente alcanza el 49,15% de la cantidad generada con expectativa de recolección reportada por la UPME en 2001 para esta región, es decir hay aproximadamente 120.000 galones de aceite usado sin recibir una recolección y tratamiento adecuado por parte de operadores avalados por el FAU, los cuales pueden ser aprovechados y tratados por parte de SANDESOL S.A. E.S.P. (Ver Anexo C).

Figura 6: Disposición de Aceites Usados en Colombia-Promedio mensual por zona geográfica.



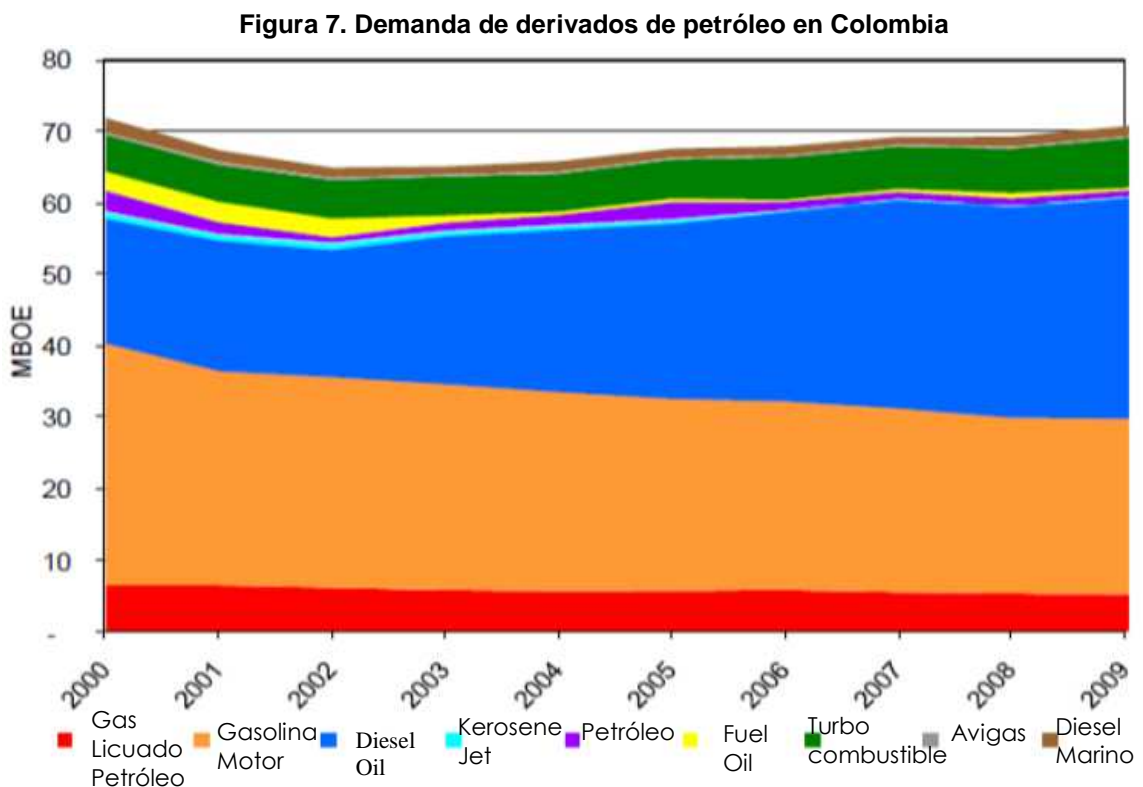
Fuente: Balance Año 2010 – Fondo de Aceites Usados – ACP

4.3 DIAGNÓSTICO DE LA DEMANDA DE ACEITE USADO

Las figuras 7 y 8 presentan, respectivamente, la demanda energética que ha tenido Colombia desde el año 2000 hasta 2009 de combustibles derivados del petróleo y su proyección hasta el año 2030 [16].

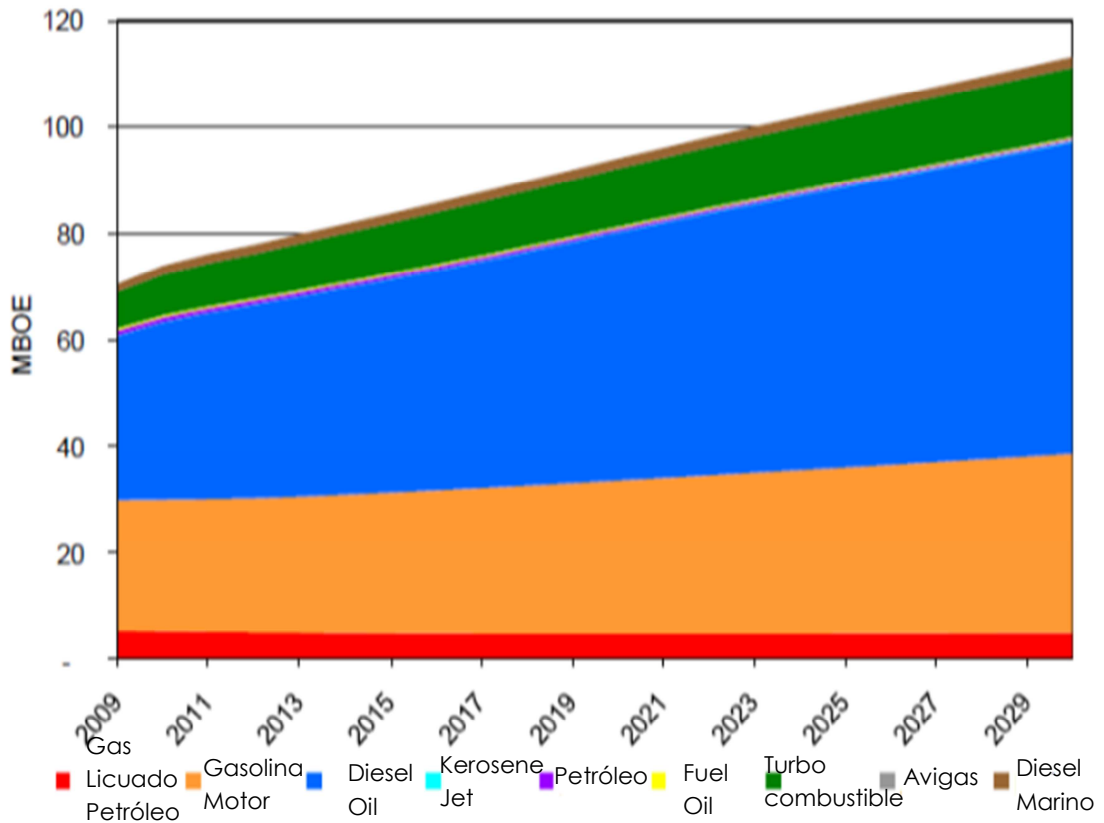
En la figura 7 se evidencia que desde el año 2004 el Fuel Oil presenta una demanda relativamente constante cercana a los 300 kBOE (Barriles Equivalentes de Petróleo), equivalentes a 1.624.200 MBTU anuales, es decir cerca de 135.350 MBTU mensuales (Ver anexo D). Esta cifra se proyecta constante hasta el año 2030, de acuerdo con los pronósticos propuestos por la UPME, como se observa en la figura 8.

Revisando el poder calórico del aceite usado (Ver Tabla 2) y transformando los 120.000 galones mensuales que no reciben tratamiento en Bucaramanga en unidades de energía, se obtiene un total de 15.200 MBTU (Ver Anexo D). Esta cantidad energética corresponde a un 11% de la demanda de Fuel Oil a nivel nacional (Ver figura 7). Por otra parte, si además del Fuel Oil, se hubiese tenido en cuenta en este estudio otros combustibles industriales con aplicaciones similares como el carbón, mineral que presenta una proyección de demanda elevada [16], el aceite usado, y tratado, por SANDESOL S.A. E.S.P. podría reemplazar un porcentaje mínimo de la demanda energética industrial a nivel nacional. Esto quiere decir que si se realiza una buena promoción del producto, fácilmente puede comercializarse.



Fuente: Proyección de demanda energética UPME

Figura 8: Proyección de demanda derivados de Petróleo en Colombia



Fuente: Proyección de demanda energética UPME

5. PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES USADOS

Teniendo en cuenta las distintas alternativas de tratamiento y disposición final que existen para los aceites usados (Ver Ítem 3.1) y considerando las condiciones tecnológicas y económicas del país, se optó por seleccionar un proceso de recuperación(Ver Ítem 3.2),que permite utilizar el aceite como combustible industrial para hornos y calderas, con o sin mezclas de otros combustibles de tipo Fuel Oil (Blending). Esto es posible, después de realizados algunos tratamientos de limpieza que permitan adecuar las especificaciones del aceite dentro de los límites máximos de contaminantes de acuerdo con el Artículo 2 de la Resolución 1446 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ver Anexo A) tal como lo muestra la Tabla 3.

Tabla 3. Porcentajes para mezcla y límites máximos de contaminantes en aceites usados tratados

Contaminantes	Máxima concentración de contaminante (ppm)	
	Para mezcla hasta del 40% volumen	Para mezcla hasta del 80% volumen
PCB's	15	5
Halógenos orgánicos totales (como HCl)	650	400
Halógenos totales (como HCl)	800	500
Cadmio	2	1
Cromo	8	3
Plomo	50	10
Arsénico	2	1
Níquel	1.5	1
Zinc	120	60
Estaño	5	3
Bario	3	1
Punto de chispa (°F, valor mínimo)	>170	>170

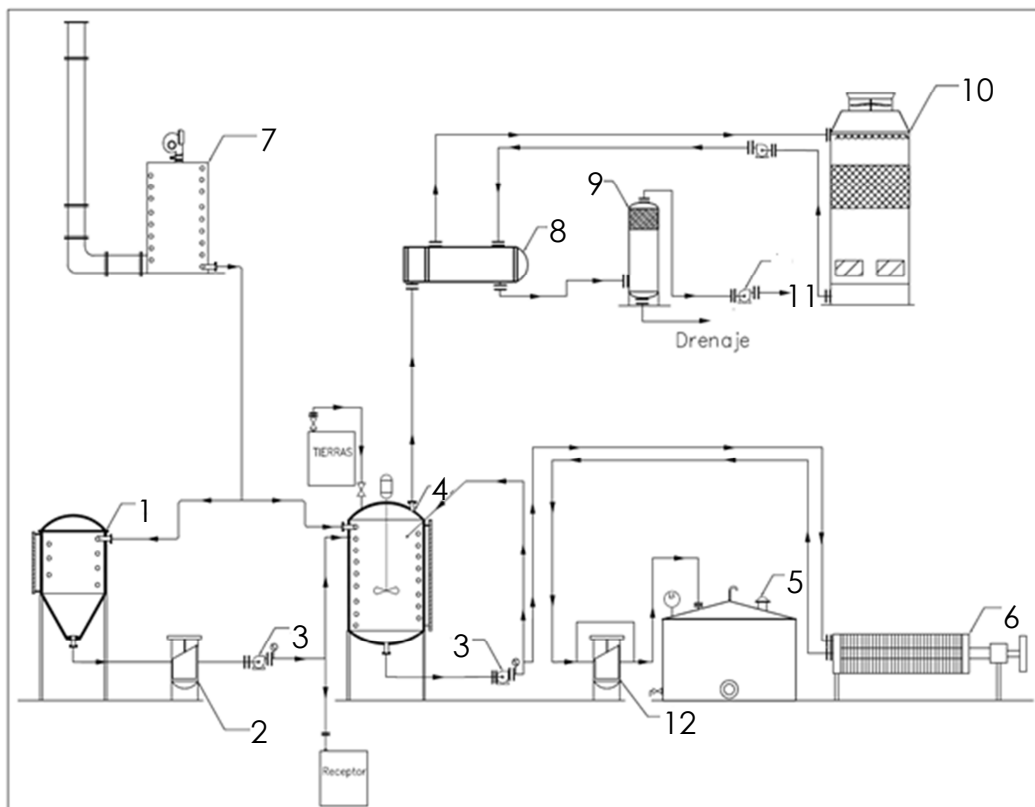
Fuente: Resolución 1446 de 2005. MAVDT

5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La transformación del aceite usado a combustible, requiere la implementación de un tratamiento cuyo objetivo es adecuar el aceite en las especificaciones técnicas y ambientales para ser utilizado como combustible en calderas y hornos. La aplicación de estos tratamientos básicamente consiste en remoción de partículas gruesas, agua, compuestos volátiles y partículas finas [10, 17, 18].

El proceso que se ilustra en la figura 9, consiste en una Alternativa de Recuperación de Aceites Usados sugerida a SANDESOL S.A. E.S.P., se divide en cuatro etapas, las cuales se describen en seguida:

Figura 9: Esquema planta de tratamiento de aceite usado



12	1	Filtro Bolsa
11	1	Bomba de vacio
10	1	Torre de enfriamiento
9	1	Separador
8	1	Condensador
7	1	Caldera vapor
6	1	Filtro prensa
5	1	Tanque aceite filtrado
4	1	Reactor secador
3	2	Bomba trasiego
2	1	Filtro canasta
1	1	Tanque aceite
ITEM	CANT.	DESCRIPCION

Fuente: Cotización Industrias Proton Ltda para Sandesol S.A. E.S.P.

5.1.1 Separación Gravimétrica Aceite-Agua.El primer paso del tratamiento consiste en hacer pasar el aceite por un tanque cilíndrico vertical con fondo cónico, de manera que por acción de la gravedad se separe parte de la mezcla agua-aceite. Para facilitar y acelerar esta separación se debe disminuir la viscosidad del aceite, calentándolo hasta 50 °C. Para ello, el tanque esta provisto de aislamiento térmico y un serpentín para calentamiento por circulación forzada. Dependiendo de la cantidad de agua presente, en algunos casos se pueden formar emulsiones difíciles de romper, para lo cual se adicionan agentes químicos conocidos como desemulsificantes.[6, 18]

5.1.2 Filtración Gruesa.La siguiente etapa del proceso es realizar una remoción de partículas sólidas gruesas, para lo cual se empleará un filtro cilíndrico vertical tipo canasta, que retiene partículas sólidas con tamaño superior a 1 mm [10, 17, 18].

5.1.3: Secado y Acondicionamiento de Aceite.En esta etapa el aceite es calentado en un reactor de forma cilíndrica vertical, el cual cuenta con aislamiento térmico, serpentín y opera al vacío,alcanzandouna temperatura que oscila entre 80-110°C con el objetivo de eliminar sustancias indeseadas como agua y compuestos volátiles (gasolina, acpm, entre otros). Los vapores generados en el reactor, pasarán por un condensador de carcasa y tubos, para posteriormente ser

enviados a una torre de separación, el cual divide el agua de los compuestos volátiles (combustibles)[17, 18].

5.1.4 Filtración Fina y Purificación. El último paso en este tratamiento es una etapa de filtración fina y purificación o pulido, con la cual se remueven contaminantes presentes en forma de partículas finas. Para ello se hace pasar el aceite a través de un filtro prensa tipo placas y marcos con telas filtrantes de polipropileno e inmediatamente después pasará a un filtro cilíndrico vertical tipo bolsa en el cual terminará su etapa de pulido o purificación. Esta se realiza después que el aceite ha dejado el evaporador para aprovechar temperatura elevada, debido a que a mayor temperatura menor viscosidad y por lo tanto mayor facilidad en la remoción de contaminantes de menor tamaño. Esto es muy importante ya que se ha comprobado que los metales pesados están en mayor concentración en partículas de menor tamaño. ($\leq 10 \mu\text{m}$) [19].

5.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN

De acuerdo al análisis de mercado realizado en el Capítulo 4, Ítem 4.2, se pudo determinar que en la zona de Bucaramanga mensualmente quedan alrededor de 120.000 galones de aceite usado sin recibir tratamiento adecuado por parte de operadores avalados por el FAU. Adicionalmente, en el Ítem 4.3 se observa que existe una buena demanda energética de Fuel Oil hasta el 2030 de acuerdo a una proyección realizada por la UPME.

Teniendo en cuenta estos datos, se planteo que el proceso de tratamiento de aceite usado tenga un flujo de operación mensual de 30.000 galones, es decir 1.000 galones diarios en un turno de 8 horas, de manera que si se desea ampliar la producción de la planta, se aumentarían las horas de operación.

Con el proceso planteado el aceite saldría a una temperatura entre 80-110 ° C, con un contenido de agua menor a 2% y de sólidos menor a 10 µm, además tiene un rendimiento aproximado del 90% debido a que se trabajaría con aceites de cárter, y su contenido de agua es generalmente entre 5-7%.

6. EVALUACIÓN FINANCIERA

El principal objetivo del estudio de viabilidad económica es determinar si es recomendable la implementación y puesta en marcha de un proyecto, este se realiza mediante una comparación entre los beneficios y los costos estimados [20]. Para conocer sí el proyecto de tratamiento de aceites usados que llevaría acabo SANDESOL S.A. E.S.P. es viable o no, se tuvieron en cuenta costos de: inversión inicial de equipos, consumo energético, materia prima, recurso humano, para calcular el precio mínimo de venta con el que se recuperaría la inversión en 5 años. Este precio fue comparado con el que ofrecen otras empresas que comercializan aceites usados tratados como combustible industrial.

Los gastos de operación mensual y anual, entre los que se incluyen consumo energético (Acpm, agua y luz) y recursos humanos aparecen registrados en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4. Consumo Energético de la Planta

CONSUMO ENERGETICO DE LA PLANTA					
Servicio	Precio Unidad	Consumo Batch	Costo Batch*	Costo Mensual (30 días)	Costo Anual
Acpm (gal)	\$ 7.944	90	\$ 714.960	\$ 21.448.800	\$ 257.385.600
Agua (m ³)	\$ 1.400	20	\$ 28.000	\$ 840.000	\$ 10.080.000
Luz (kwh)	\$ 345,17	500	\$ 172.585	\$ 5.177.550	\$ 62.130.600
TOTAL COSTO				\$ 27.466.350	\$ 329.596.200

*Los datos de consumo fueron estimados por Industrias Proton Ltda., de acuerdo a las condiciones de operación y características del aceite suministradas por SANDESOL S.A. E.S.P.

Tabla 5. Gastos en Recursos Humanos

RECURSO HUMANO (1 Operario)		
	Mensual	Anual
Salario	\$ 700.000	\$ 8.400.000
Auxilio Transporte	\$ 67.800	\$ 813.600
Cesantías		\$ 767.800
Int Cesantías		\$ 92.136
Prima		\$ 767.800
Pension	\$ 92.136	\$ 1.105.632
Salud	\$ 65.263	\$ 783.156
Arp	\$ 40.079	\$ 480.948
Parafiscales (9%)	\$ 69.102	\$ 829.224
TOTAL COSTO	\$ 1.034.380	\$ 14.040.296

El pago del crédito se hace mediante una cuota mensual fija de 18% Nominal Anual [21], la cual se calculó mediante una función en Excel y aparece registrada en la Tabla 6.

Tabla 6. Cuota Fija Mensual de Crédito

CUOTA FIJA MENSUAL DEL CRÉDITO		
FUNCIÓN PAGO EXCEL	PAGO(tasa;nper;va;vf;tipo)	
Parámetro	Descripción	Valor
Tasa	Interés del préstamo mensual, equivalente a 18% anual	1,50%
Nper	Número total de pagos mensuales del préstamo	60
Va	Valor actual	\$ 904.705.879
Vf	Valor futuro, saldo en efectivo después de efectuar último pago	\$ 0
Tipo	Indica cuando vencen los pagos, es el número 0 o 1	N.A.
CUOTA FIJA MENSUAL		\$ 22.973.583,08

La tasa de amortización permite ver la distribución de la deuda a lo largo del tiempo, es decir manteniendo una cuota fija mensual se puede determinar cuanto dinero se paga de interés, cuanto se abona a capital y el saldo de la deuda durante los 5 años del crédito. En la Tabla 7 se muestra esta distribución [20, 21].

Tabla 7. Tasa de Amortización

TASA DE AMORTIZACIÓN – CUOTA FIJA				
Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación	Valor cuota
1	\$ 13.570.588,18	\$ 9.402.994,90	\$ 895.302.884,10	\$ 22.973.583,08
2	\$ 13.429.543,26	\$ 9.544.039,82	\$ 885.758.844,28	\$ 22.973.583,08
3	\$ 13.286.382,66	\$ 9.687.200,42	\$ 876.071.643,87	\$ 22.973.583,08
4	\$ 13.141.074,66	\$ 9.832.508,42	\$ 866.239.135,44	\$ 22.973.583,08
57	\$ 1.328.235,39	\$ 21.645.347,69	\$ 66.903.678,24	\$ 22.973.583,08
58	\$ 1.003.555,17	\$ 21.970.027,91	\$ 44.933.650,33	\$ 22.973.583,08
59	\$ 674.004,75	\$ 22.299.578,33	\$ 22.634.072,00	\$ 22.973.583,08
60	\$ 339.511,08	\$ 22.634.072,00	\$ 0,00	\$ 22.973.583,08

En la Tabla 8 se encuentra la evaluación financiera del proyecto, en la que aparece el flujo de caja de los 5 años en los que se mantiene el crédito, el cual determina el precio mínimo de venta por galón de aceite usado tratado. Adicionalmente aparece el flujo de caja del año 6, es decir el primer año de utilidades [22].

Tabla 8. Evaluación Financiera del Proyecto

EVALUACION FINANCIERA DEL PROYECTO					
	Parámetros	AÑO 0	AÑO1	AÑO 5	AÑO 6
INGRESOS					
Cantidades de Venta	27000 galones/mes		\$ 970.380.000	\$ 970.380.000	\$ 970.380.000
PRECIO DE VENTA	\$ 2.995				
TOTAL INGRESOS		\$ 0	\$ 970.380.000	\$ 970.380.000	\$ 970.380.000
INVERSIONES					
Equipos de tratamiento		\$ 754.000.000			
Tanque almacenamiento, A36 de 30 000 gal		\$ 150.705.879			
TOTAL INVERSION		\$ 904.705.879			
COSTOS DE OPERACIÓN					
	MENSUALES	AÑO 0	AÑO1	AÑO 5	AÑO 6
Materia prima (Aceite Usado \$975/gal)	\$ 29.250.000		\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000
Combustible (acpm)	\$ 21.448.800		\$ 257.385.600	\$ 257.385.600	\$ 257.385.600
Agua	\$ 840.000		\$ 10.080.000	\$ 10.080.000	\$ 10.080.000
Energía Eléctrica	\$ 5.177.550		\$ 62.130.600	\$ 62.130.600	\$ 62.130.600
Recurso Humano (1 operario)	\$ 1.034.380		\$ 14.040.296	\$ 14.040.296	\$ 14.040.296
Crédito de Inversión	\$ 22.973.583		\$ 275.682.996	\$ 275.682.996	\$ 0
TOTAL COSTOS			\$ 970.319.492	\$ 970.319.492	\$ 694.636.496
FLUJO DE CAJA		(\$ 904.705.879)	\$ 60.508	\$ 60.508	\$ 275.743.504
TIR			16%		

De acuerdo con la Tabla 8, durante los primeros 5 años de operación de la planta se tendrá una ganancia de \$60.508, vendiendo el aceite a \$2.995/galón. Para el sexto año se tendrá un excedente de \$275.743.504, con una Tasa Interna de Retorno TIR del 16%. Estos cálculos no tienen en cuenta la inflación, por lo cual

cualquier aumento en algún costo se vera reflejado en el precio del aceite tratado[22]. La empresa que actualmente existe en Bucaramanga encargada de recolectar aceite usado y darle tratamiento para comercializarlo como combustible industrial maneja precios entre \$3.000 y \$5.000 por galón, dependiendo de la calidad del aceite, el aceite que comercializaría SANDESOL S.A. E.S.P. por su bajo contenido de agua y sólidos presenta una buena calidad como combustible industrial sustituto, por lo tanto puede entrar al mercado con precios similares a los de la competencia y con un producto de buena calidad.

CONCLUSIONES

Dentro de las alternativas de tratamiento, la más amigable con el medio ambiente es la re-refinación, con la cual se recupera la base para fabricar nuevos lubricantes, desafortunadamente presenta costos de inversión elevados y por este motivo aún no se realiza en Colombia. La segunda opción y la más aconsejable para SANDESOL S.A. E.S.P. teniendo en cuenta las condiciones técnico-económicas del país, es emplearlo como combustible industrial para hornos y calderas, después de realizarle ciertos tratamientos de limpieza y remoción de contaminantes.

Revisando el estudio de mercado se puede inferir que a pesar que actualmente existen varias empresas que realizan tratamiento a los aceites usados y dan disposición final adecuada a los mismos, queda una gran cantidad de aceite que no recibe ningún tratamiento por parte de estas empresas, para el área de Bucaramanga esta cantidad es cercana a los 120.000 galones mensuales, el cual podría llegar a tratar y comercializar SANDESOL S.A. E.S.P., ya que existe una demanda energética nacional de Fuel Oil y demás combustibles industriales alta, con expectativas de aumento, de acuerdo a una proyección realizada por la UMPE.

Para llevar a cabo la implementación de la planta se requiere hacer una inversión cercana a los \$905.000.000, los cuales se financiarían y pagarían a una tasa de 18% Nominal Anual en un plazo de 5 años (60 meses), manejando una cuota constante aproximadamente de \$23.000.000. Para recuperar la inversión en el periodo establecido, el precio mínimo de venta por galón es de \$2.995, precio con el cual perfectamente puede entrar a competir con un producto de buena calidad, lo más importante es realizar una buena promoción del producto y establecer mercado fijo para el producto.

RECOMENDACIONES

Antes de hacer algún tipo de inversión, es muy importante asegurar un buen mercado, concretar clientes y proveedores, con precios y condiciones establecidos, para evitar que el producto se estanque, es decir se acumule y no se venda o por el contrario, se pierda de vender por falta de proveedores de aceite usado (estaciones de servicio, centros de lubricación, etc.), cualquiera de los motivos generaría pérdidas para la empresa, teniendo en cuenta la gran inversión que se ha realizado.

Es muy importante dar una disposición o manejo adecuado a los residuos que se generan, principalmente agua, sedimentos, lodos, el encapsulamiento en Clinker y la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales son buenas opciones. El uso de tierras filtrantes como fuller ayuda a mejorar las condiciones y propiedades del aceite, pero se contaminan y generan otro residuo al cual hay que darle disposición final, es decisión de SANDESOL S.A. E.S.P. el uso de éstas.

Los vapores provenientes del reactor son condensados y separados, generalmente están compuestos por agua y combustibles (gasolina, acpm), los cuales pueden ser empleados en la caldera, al igual que el mismo aceite tratado, con lo cual se reducirían notablemente los costos de producción y aumentaría la rentabilidad de la empresa.

Es muy importante que SANDESOL S.A. E.S.P. esté pendiente de las nuevas tecnologías que lleguen al país en los próximos años, todo con la idea de ir poco a poco implementando procesos de re-refinación, con lo cual se puede recuperar la base lubricante para fabricación de nuevos aceites y los fondos son crudos pesados, generalmente empleados como combustibles tipo Fuel Oil

BIBLIOGRAFIA

- [1] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, “Generación y Gestión de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia – Año 2009”, Bogotá D.C., Colombia, Febrero de 2011.
- [2] François Audibert. *Waste Engine Oils: Rerefining and Energy Recovery*, Editorial Elsevier Science & Technology Books, Francia, Octubre de 2006, pag7-12.
- [3] Roy M. Mortier; Malcolm F. Fox; Stefan T. Orszulik (Eds.). *Chemistry and Technology of Lubricants*, Tercera Edición, Editorial Springer, Reino Unido, 2009, pag3-12.
- [4] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, DAMA, DAGMA, DAMAB, AMVA, CORANTIOQUIA, Secretaria de Medio Ambiente de Medellín, ACP, Codesarrollo, “Manual Técnico para el Manejo de Aceites Lubricantes Usados”, Bogotá D.C., Colombia, 2006.
- [5] Secretaria Distrital de Medio Ambiente, Dirección de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental – Alcaldía Mayor de Bogotá, “Gestión de los Aceites Usados”, Bogotá D.C., Colombia, Octubre de 2008.
- [6] Carlos M. Gómez; Gustavo C. García; Ariel Hernández; Pablo Ramírez. “La industria de la re-refinación de aceite mineral usado en Argentina: Oportunidad de negocio con beneficio ambiental”. Tesis de Maestría en Dirección de Empresas, Universidad del CEMA, Buenos Aires, Argentina, 2007.

[7] Toxic Substances Portal. "Lead", Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Octubre 2 de 2011, Disponible: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/TF.asp?id=93&tid=22>

[8] G. Aguilar; G. Mazzamaro; M. Rasberger. "Oxidative Degradation and Stabilisation of Mineral Oil-Based Lubricants". En: *Chemistry and Technology of Lubricants*. Roy M. Mortier, Tercera Edición, Editorial Springer, Reino Unido, 2009, pag107-127.

[9] El – Fadel M.; Khoury R. "*Strategies for vehicle waste – oil management: a case study*". Resources, Conservation and Recycling, 33, 2001, pag75 – 91.

[10] KanokkantapongVorapot; KiatkittipongWorapon; PanyapinyopolBunyarit; WongsuchotocPorntip; PavasantcPrasert. "*Used lubricating oil management options based on life cycle thinking*". Resources, Conservation and Recycling, 53, 2009, pag294-299.

[11] Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción – Escuela Superior Politécnica del Litoral, "Factibilidad del Manejo Ambientalmente Correcto (MAC) de los Residuos Aceites en Guayaquil – Informe Final", Guayaquil, Ecuador, Julio de 2006.

[12] François Audibert. "Oil composition and the required treatment steps". En: "*Waste Engine Oils: Rerefining and Energy Recovery*". François Audibert, Editorial Elsevier Science & Technology Books, Francia, Octubre de 2006, pag35-40

[13] Margarita Montes Casanova. "Re-refinado de Aceites Usados". Trabajo de Tratamiento de Residuos, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial, Especialidad Química Industrial, Universidad de Vigo, España, 2003.

[14] Asociación Colombiana del Petróleo ACP. “Informe Estadístico Petrolero”, Bogotá D.C., Colombia, 22 de Septiembre de 2011.

[15] Asociación Colombiana del Petróleo ACP - Fondo de Aceites Usados FAU. “Balance Año 2010”, Bogotá D.C., Colombia, 2011

[16] Ministerio de Minas y Energía - Unidad de Planeación Minero Energética UPME. “Proyección de demanda de energía en Colombia”, Bogotá D.C., Colombia, Octubre de 2010.

[17] François Audibert. “Combustion of waste engine oil with or without other fuels”. En: “*Waste Engine Oils: Rerefining and Energy Recovery*”. François Audibert, Editorial Elsevier Science & Technology Books, Francia, Octubre de 2006, pag199 – 216.

[18] Ministerio de Minas y Energía – Unidad de Planeación Minero Energética UPME. “Transformación de los Aceites Usados para su utilización como energéticos en procesos de combustión”, Bogotá D.C., Colombia, Octubre de 2001.

[19] Nerín Cristina; Domeño Celia; García José Ignacio; del Alamo Alberto. “*Distribution of Pb, V, Cr, Ni, Cd, Cu and Fe in particles formed from the combustion of waste oils*”. Chemosphere, Vol. 38, No. 7, 1999, pag1533 – 1549

[20] Diego Navarro Castaño. “Ingeniería Económica”. Facultad de Administración, Departamento de Administración, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Enero de 2010, Disponible:<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4010045/index.html>

[21] Javier Serrano Rodríguez. “Interés Nominal y Efectivo”. En: *Matemáticas Financieras y Evaluación de Proyectos*, Editorial Alfaomega, Ediciones Uniandes Facultad de Administración, Colombia, 2005, pag 37-53

[22] Javier Serrano Rodríguez. “Evaluación de alternativas de inversión. Construcción e interpretación de los indicadores para medir la bondad económica de un proyecto de inversión”. En: *Matemáticas Financieras y Evaluación de Proyectos*, Editorial Alfaomega, Ediciones Uniandes Facultad de Administración, Colombia, 2005, pag 57-92

ANEXOS

ANEXO A: Normatividad

NORMA	ENTIDAD	DISPOSICIÓN
Decreto Ley 2811 de 1974	Congreso de la República	Por medio del cual se expide el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente
Ley 9 de 1979	Congreso de la República	Código Sanitario Nacional
Ley 99 de 1993	Congreso de la República	Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental - SINA y se dictan otras disposiciones.
Ley 253 de 1996	Congreso de la República	Por medio de la cual se aprueba en Colombia el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.
Ley 336 de 1996	Congreso de la República	Disposiciones Generales para los Modos de Transporte
Ley 430 de 1998	Congreso de la República	Por medio de la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental referentes a desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
Decreto 02 de 1982	Ministerio de Salud	Por medio del cual se reglamenta el Código de Recursos Naturales Renovables en lo referente a la calidad del aire.
Decreto 1594 de 1984	Ministerio de Salud	Por medio del cual se reglamenta parcialmente la Ley 9° de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos de aguas y residuos líquidos.
Decreto 283 de 1990	Ministerio de Minas y Energía	Reglamenta el almacenamiento, manejo, transporte, distribución, de combustibles líquidos derivados del petróleo y el transporte por carrotaques.
Decreto 353 de 1991	Ministerio de Minas y Energía	Por el cual se reglamenta la Ley 26 de 1989 que dicta algunas disposiciones sobre la distribución de combustible líquidos derivados del petróleo y se modifica parcialmente el Decreto 283 de 1990

Decreto 948 de 1995	Ministerio de Ambiente	Por medio del cual se reglamenta parcialmente la Ley 23 de 1973, el Decreto 2811 de 1974, la Ley 9ª de 1979 y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y protección de la calidad del aire.
Decreto 1521 de 1998	Ministerio de Minas y Energía	Por el cual se reglamenta el almacenamiento, manejo y transporte y distribución de combustible líquidos derivados del petróleo, para estaciones de servicio.
Decreto 321 de 1999	Ministerio del Interior	Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia para atender eventos de derrame de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas.
Decreto 1609 de 2002	Ministerio de Transporte	Por medio del cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.
Resolución 898 de 1995	Ministerio del Medio Ambiente	Por la cual se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial.
Resolución 415 de 1998	Ministerio del Medio Ambiente.	Por medio de la cual se establecen los casos en los cuales se permite la combustión de los aceites de desechos y las condiciones técnicas para realizar la misma.
Resolución 058 de 2002	Ministerio del Medio Ambiente	Por medio de la cual se establecen normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos.
Resolución 886 de 2004	Ministerio de Medio Ambiente	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 058 de 2002
Resolución 1446 de 2005	Ministerio del Medio Ambiente	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 415 de 1998, que establece los casos en los cuales se permite la combustión de aceites de desecho o usados y las condiciones técnicas para realizar la misma.
Decreto 1220 de 2005	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre Licencias Ambientales.
Decreto 4741 de 2005	Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Ministerio de Transporte	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.

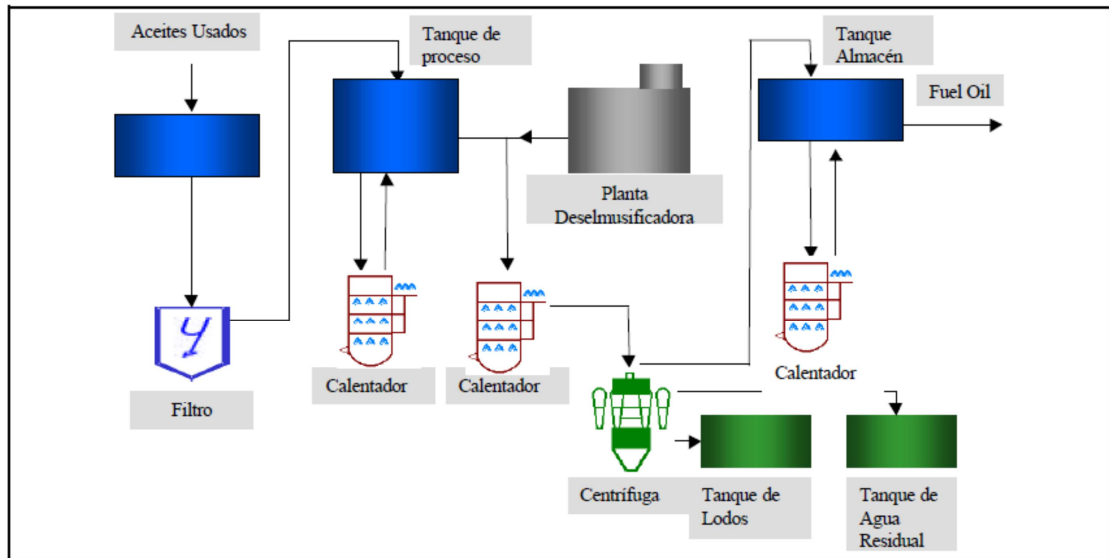
ANEXO B: Procesos comúnmente utilizados en tratamiento de aceites usados.

a. INCINERACIÓN DIRECTA

EL aceite usado puede emplearse como combustible sin ningún tratamiento previo, solamente en hornos, quemadores, que operen a elevadas temperaturas (mayores a 800°C) para asegurar la destrucción de material orgánico. Deben tener un control de emisiones para asegurar que realmente se haga destrucción de estos compuestos. Su mayor aplicación es en hornos Clinker para la elaboración de cemento, el cual opera a temperaturas entre 1000-1200°C.

b. RECUPERACIÓN DESPUÉS DE TRATAMIENTO MODERADO.

El aceite usado puede emplearse como combustible industrial con aplicaciones similares al Fuel Oil en hornos y calderas después de pasar por un tratamiento con un proceso en el que se eliminan partículas gruesas, sedimentos, lodos, partículas finas y agua. En la primera etapa de este tratamiento se realiza una filtración para remover partículas gruesas, en seguida el agua y el sedimento se decantan en un tanque. La decantación se realiza a través de un calentamiento del tanque hasta 70 u 80 grados centígrados. Finalmente se hace remoción de partículas mediante filtración o decantación. Estas etapas involucran la adición de desemulsificantes, para el rompimiento de las emulsiones formadas con el agua.



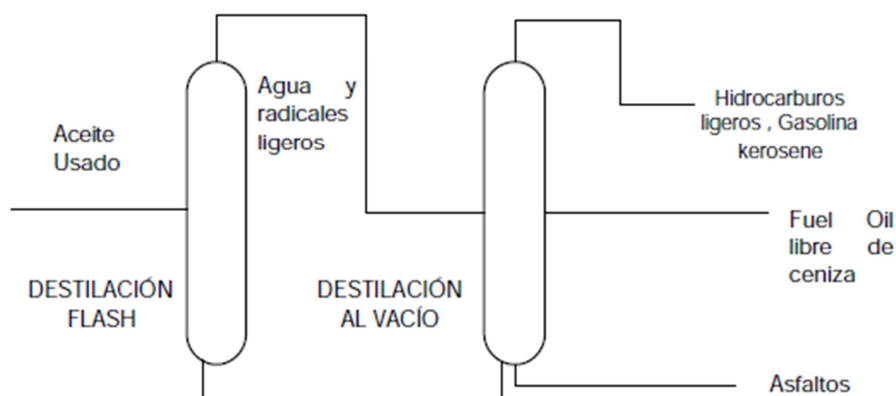
c. RECUPERACIÓN DESPUÉS DE TRATAMIENTO SEVERO.

Se conoce como tratamiento severo de recuperación cuando se transforma el aceite usado en combustible que pueda ser quemado con emisiones similares a los originales. Los aceites usados son tratados en unidades de proceso que incluyen una columna flash para remover agua, una columna de destilación operando bajo vacío y otra columna de destilación obteniendo destilados y residuos que contengan sedimentos, metales pesados y aditivos. Los compuestos del cloro orgánico pueden estar remanentes en el destilado. Los procesos más utilizados en este tratamiento son el Vaxon y Trazablier.

- **Proceso Vaxon:** Consiste en una serie de evaporadores a vacío seguido por un tratamiento químico de los destilados obtenidos, es importante pues puede ser extendido para crear bases de aceite refinados. La primera etapa remueve agua, nafta e hidrocarburos livianos. La segunda etapa remueve gas oil, spindle oil y combustibles ligeros del aceite residual. La tercera y cuarta etapa separan los diferentes destilados del residuo final (en los cuales todos los metales, aditivos y productos de degradación están concentrados). Los destilados resultantes son combustibles industriales de buena calidad. Este

proceso también es utilizado con otros procesos adicionales para crear aceite base re-refinado.

- **Proceso Trailblazer:** Este es el proceso utilizado por Texaco, en donde el aceite usado es deshidratado en una torre flash, calentado y procesado por una destilación al vacío, de los cuales se obtienen tres flujos:
 - **Hidrocarburos Livianos.-** consisten en gasolina, kerosene, etc.
 - **Destilado de Vacío.-** Estos comprenden hidrocarburos libres de cenizas dentro del rango de diesel y dentro de las especificaciones de combustible para algunas aplicaciones, incluyendo diesel oil marino.
 - **Asfalto.-** Este producto secundario es el residuo de fondo de las torres de vacío. El metal, aditivos y productos de degradación son contenidas en el asfalto. El metal encapsulado en el producto de asfalto tiene baja lixiviación de acuerdo a las pruebas.

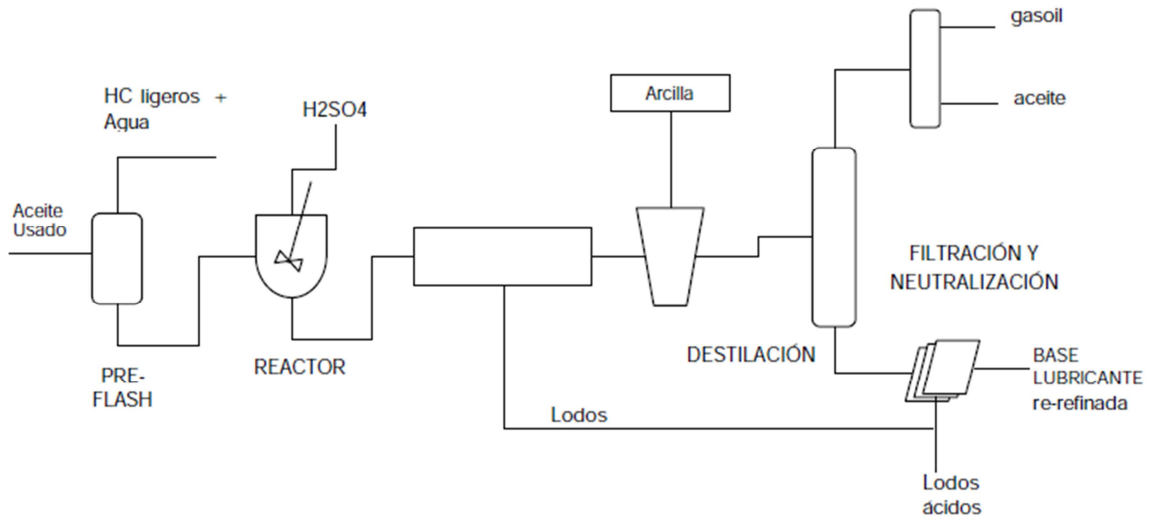


d. PROCESOS DE REGENERACIÓN-RE-REFINACIÓN

✓ Proceso ácido/arcilla (acid/clay) - destilación:

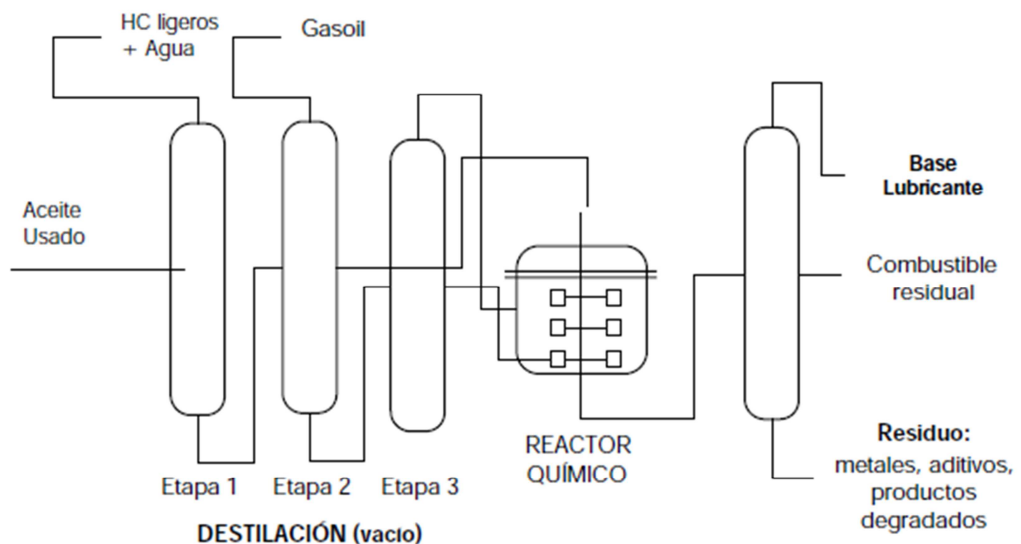
Primer proceso de re-refinación utilizado en el mundo. Su fundamental ventaja es el bajo costo de operación y la relativa simplicidad del proceso, por otra parte, su rendimiento no es alto en comparación con otras tecnologías y genera un gran impacto ambiental que ha llevado al cuestionamiento mundial acerca de su

utilización. Presenta gran dificultad ambiental, debido al alto volumen de aceite absorbido por la arcilla, cuya disposición final es compleja.



✓ **Destilación/Tratamiento Químico o Extracción con Solventes**

Éste tipo de proceso, consiste en una serie de destilaciones atmosféricas y al vacío y un tratamiento químico con solventes anterior o posterior a las destilaciones. Si es el caso de tratamiento químico posterior es necesario realizar una destilación al vacío para obtener las fracciones de interés y la base lubricante.



✓ **Proceso de Desfaltado/Propano (PDA)**

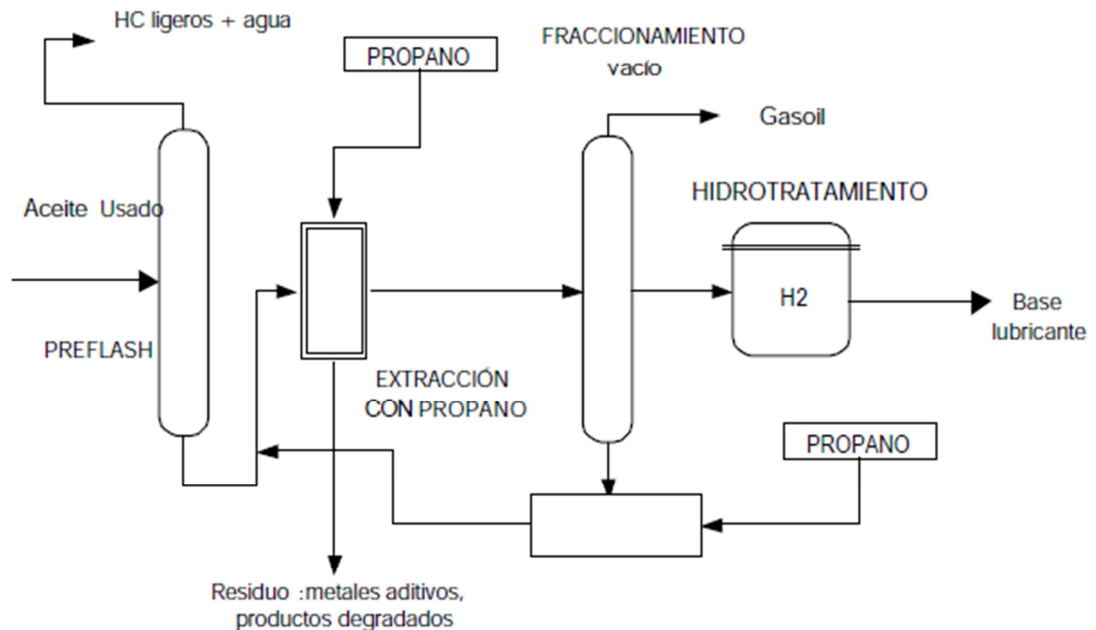
También denominado Selecto-Propano emplea propano líquido para la separación de la fracción asfáltica residual (metales, aditivos, polímeros y productos de degradación). Este proceso se fundamenta en el desfaltado del aceite usado, en la eliminación tanto de contaminantes sólidos e insolubles como de productos de degradación obtenidos en la descomposición de los aditivos. Las siguientes etapas son llevadas a cabo en este proceso:

1. Deshidratación para separar el agua y los hidrocarburos livianos.
2. El aceite deshidratado se mezcla con propano líquido y se decanta en un reactor.
3. Separación de fases:
 - El propano conteniendo el aceite disuelto es extraído por la parte superior.
 - El residuo insoluble es drenado por el fondo del reactor, el cual se mezcla con una pequeña porción de fuel oil y es utilizado como combustible en hornos rotativos.
4. El aceite y el propano son separados en un flash de doble etapa para que puedan ser reutilizados en otros tratamientos.
5. Etapas de acabado con el aceite clarificado utilizando un tratamiento ácido y luego sometido a una decoloración con tierras decolorantes; lo que reduce los porcentajes de ambos agentes de refino y con ello la formación de subproductos. El otro tratamiento es por hidrogenación.
6. Fraccionando a vacío, solo si se quieren obtener varios cortes de aceite lubricante

Estos procesos son de gran inversión y tienen costos operativos altos. Entre las ventajas del proceso Selecto-propano podemos mencionar las siguientes:

- Reduce la formación de Subproductos.
- Reduce la presencia de residuos.
- Si se combina con hidrogenación, elimina la etapa de tratamiento ácido.
- Mejora los rendimientos.

- Alta calidad de los aceites base obtenidos.
- Ausencia de problemas referentes a los lodos y a las tierrasdecolorantes usadas.



✓ Proceso Interline

La tecnología de Interline emplea propano líquido para la separación de la extracción asfáltica como en el caso del PDA. La principal diferencia es que esta operación es mejorada en el up-stream. El proceso consiste en las siguientes etapas:

- Extracción.-** El aceite usado es mezclado con propano para extraer la fracción de hidrocarburos recuperables. La fase agua-residuo se separa por decantación da como resultado agua y residuos sólidos.
- Separación.-** El aceite es separado del propano y luego llevado a presión atmosférica para remover los hidrocarburos livianos. El aceite remanente es destilado bajo una columna de vacío obteniendo aceite lubricante base, diesel y residuo. Los residuos son mezclados con un residuo sólido derivados de la separación agua-residuo y dispuestos como asfalto.

Interline empezó sus operaciones industriales con este proceso en 1993 en Draper (UTAH) y está actualmente comprometido en la promoción de esta tecnología. Los costos de operación y de inversión son reducidos cuando se comparan con otra tecnología de re-refinamiento.

✓ **Proceso de Desfaltado Térmico (TDA)**

Esta tecnología ha sido desarrollada por AGIP Petroli/Viscolube en una planta de re-refinamiento en España (Piqsa). Este proceso se fundamenta en el proceso ULIBARRI de desasfaltado térmico mejorado por Viscolube y consta de las siguientes etapas:

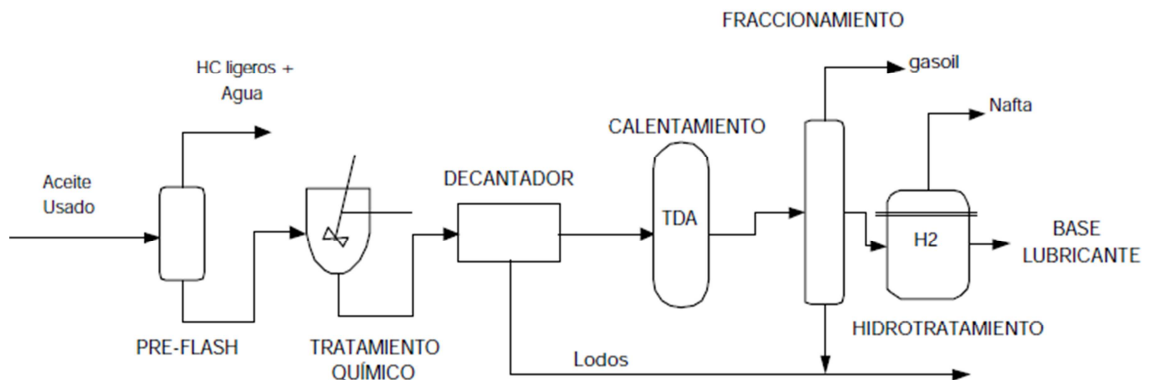
1. Destilación Preliminar: la misma que se realiza a baja temperatura con el objetivo de eliminar el agua y los solventes ligeros.

2. Separación de todos los contaminantes presentes en los aceites residuales; esto se hace a través de una columna de desfaltado a vacío y al mismo tiempo se efectúa una destilación en tres grados:

- ✓ • Ligeros
- ✓ • Medios
- ✓ • Pesados junto con gas-oil y asfalto base.

3. Tratamiento Final: Una vez que el aceite lubricante usado haya pasado por la etapa de desasfaltado puede ser sometido a un tratamiento a alta temperatura utilizando arcilla decolorante o también puede hacerse por hidro acabado. Este proceso presenta varias ventajas, entre las que se tienen:

- ✓ • Ausencia de partes en movimiento.
- ✓ • Beneficioso desde el punto de vista de defensa ambiental.
- ✓ • Ahorro de energía.
- ✓ • Trabajo continuo.
- ✓ • Condiciones al vacío sin sobre esfuerzo.
- ✓ • Aumento en los porcentajes de eficiencia.
- ✓ • Fácil manejo.



✓ **Proceso de Evaporador en Capa Fina (TFE) e Hidro-tratamiento.**

KTI, Chemical Engineering Partners (CEP), Breslube/Safetykleen y Buss Luwa, emplean esta tecnología. El proceso consiste en las siguientes etapas:

1. Pre-flash y Tratamiento Químico. El agua, los hidrocarburos livianos y trazas de combustible contenidos en el aceite usado son removidos por el stripping de vacío moderado o atmosférico; una o dos columnas son usualmente requeridos. En el caso de CEP un tratamiento químico es también incluido para minimizar la corrosión del equipo.
2. TFE e Hidro-tratamiento.-El desfaltado es efectuado por el TFE, calentamiento del aceite y operación bajo vacío y alta temperatura. Los metales pesados, polímeros, aditivos y otros productos de degradación son removidos del residuo del asfalto. La fracción del aceite lubricante resultante es hidro-tratada.
3. Destilación. Luego del hidrotatamiento, la fracción del aceite usado es separada en diferentes aceites en una columna de vacío.

ANEXO C: Cifras para obtención de figuras capítulo 4.

✓ Ventas Históricas de Lubricantes – Nacionales y Exportaciones

Ventas Históricas de Lubricantes (BPDC) 2000-2010	
Año	Ventas Lubricantes (BPDC)
2000	2.596
2001	2483
2002	2483
2003	2462
2004	2418
2005	2498
2006	2729
2007	2509
2008	3103
2009	3146
2010	3454

✓ Participación Ventas Nacionales Lubricantes por Tipo 2010

Ventas Nacionales por Tipo de Aceite 2010 (BPDC)									
Mes	Aviación	Diesel automotor y transporte	Gasolina y gas	Grasas en general	Industriales	Motos en General	Proceso	Transmisión Automotrices en general	Otros
Enero	3	672	155	190	386	113	464	2	513
Febrero	3	957	195	232	626	122	686	21	552
Marzo	3	931	184	243	613	128	617	12	474
Abril	4	918	203	219	507	75	582	27	506
Mayo	1	899	189	207	510	82	586	57	466
Junio	2	1051	215	224	612	71	598	28	483
Julio	4	798	183	222	584	66	543	50	442
Agosto	2	873	180	194	446	65	559	5	40
Septiembre	3	948	171	243	528	74	590	21	25

Octubre	10	988	152	195	519	64	538	4	26
Noviembre	5	963	203	213	569	75	609	22	443
Diciembre	1	1976	259	552	1490	223	1071	224	715
TOTAL	41	11974	1120	2240	2059	1158	7443	473	4685

✓ Disposición de Aceites Usados en Colombia

Disposición de Aceites Usados en Colombia por operadores FAU (Galones)			
Zona Geográfica	Año 2009	Año 2010	UPME 2001
Zona Central Bogotá	3664000	5072000	
Zona Occidente Medellín	292000	749000	
Zona Sur Cali	1303000	1648000	
Zona Costa Norte	1508000	2267000	
Zona Noriente B/mga	1065000	1386000	
TOTAL	7832000	11122000	17580000

✓ Disposición de Aceites Usados en Colombia, promedio mensual por zona geográfica

Disposición de Aceites Usados en Colombia por zona geográfica (Prom. mensual) (Galones)			
Zona Geográfica	Año 2009	Año 2010	UPME 2001
Zona Central Bogotá	305000	423000	500000
Zona Occidente Medellín	24000	62000	265000
Zona Sur Cali	109000	137000	244000

Zona Costa Norte	126000	189000	220000
Zona Noriente B/mga	89000	116000	236000
TOTAL	653000	927000	1465000

✓ Cifras históricas y proyección de demanda de derivados del petróleo (kBOE)

AÑO	GLP	GM	DO	KS	PT	FO	TC	AV	DM
2000	6287	34330	23835	854	2973	2708	5175	143	2053
2001	6286	30386	24952	722	1754	2921	5154	298	1615
2002	5961	29867	24294	841	829	2696	5425	126	1414
2003	5629	29206	28247	591	1189	1096	5456	121	1121
2004	5947	28216	30961	528	1463	520	5281	136	1464
2005	5532	27222	33426	423	2484	572	5441	112	1271
2006	5643	26750	36116	80	1252	355	5930	97	1280
2007	5339	26044	38567	61	1068	485	5917	87	1081
2008	5155	24930	40149	50	1068	818	6192	99	1438
2009	5062	24886	41949	76	968	417	6930	102	1427
2010	4941	24933	42626	67	927	358	7717	98	1640
2011	4836	24955	43915	63	896	344	8133	92	1670
2012	4747	25261	45217	64	869	333	8371	88	1693
2013	4673	25572	46794	68	846	323	8757	85	1712
2014	4612	25886	48543	65	825	315	9107	82	1729
2015	4563	26203	50246	65	805	308	9443	79	1745
2016	4525	26526	51951	66	787	301	9765	77	1759
2017	4497	26906	53511	66	770	295	10073	74	1773
2018	4477	27312	55247	66	754	289	10368	72	1786
2019	4465	27764	56957	66	739	283	10652	70	1798
2020	4459	28229	58699	66	724	278	10923	69	1809
2021	4459	28702	60437	66	710	273	11183	67	1820
2022	4465	29207	62184	66	697	268	11432	65	1830
2023	4475	29742	63875	66	684	263	11671	64	1840
2024	4489	30306	65583	66	671	259	11900	62	1850
2025	4506	30901	67245	66	659	254	12120	60	1859

2026	4527	31507	68860	66	647	250	12330	59	1869
2027	4551	31822	70499	66	636	246	12532	58	1877
2028	4576	32141	72165	66	624	242	12725	56	1886
2029	4605	32462	73859	66	613	238	12910	55	1909
2030	4631	32787	75574	66	603	234	13088	54	1982

ANEXO D: Conversiones de unidades

	btu	toe	boe	kWh	kcal	Gcal	Mtoe	Mbtu	GWh
btu	1	2.51982E-08	1.84703E-07	2.93056E-04	0.2519824	2.51982E-07	2.51982E-14	1.00000E-06	2.93056E-10
toe	3.96853E+07	1	7.330	11,630.0	1.00000E+07	10.000	1.00000E-06	39.685	1.16300E-02
boe	5.41409E+06	1.36426E-01	1	1,586.6	1.36426E+06	1.364	1.36426E-07	5.414	1.58663E-03
kWh	3,412.3	8.59845E-05	6.30267E-04	1	859.8452	8.59845E-04	8.59845E-11	3.41232E-03	1.00000E-06
kcal	3.9685	1.00000E-07	7.33000E-07	1.16300E-03	1	1.00000E-06	1.00000E-13	3.96853E-06	1.16300E-09
Gcal	3.96853E+06	1.00000E-01	7.33000E-01	1,163.0	1,000,000	1	1.00000E-07	3.969	1.16300E-03
Mtoe	3.96853E+13	1.00000E+06	7.33000E+06	1.16300E+10	1.00000E+13	1.00000E+07	1	3.96853E+07	11,630.0
Mbtu	1.00000E+06	2.51982E-02	1.84703E-01	293.0556	251,982	2.51982E-01	2.51982E-08	1	2.93056E-04
GWh	3.41232E+09	85.9845	630.2666	1.00000E+06	8.59845E+08	859.8452	8.59845E-05	3,412.322	1

✓ Cantidad de demanda energética que puede reemplazar el aceite usado a tratar por SANDESOL S.A. E.S.P.

- Demanda Nacional de Fuel Oil: Conversión de kBOE a MTU.

$$300kBOE \rightarrow 300.000 BOE * \frac{5,414 \times 10^6 BTU}{1 BOE} = 1,6242 \times 10^{12}$$

$$\rightarrow 1.624.200 MBTU / 12 Meses = 135.350 MBTU Mensuales$$

- Cantidad de demanda energética de Fuel Oil que puede ser reemplazada por aceite usado.

Cantidad de aceite usado disponible mensualmente: 120.000 gal

Poder Calorífico del aceite usado: 38,22 $\frac{MJ}{kg}$

Densidad del aceite usado: $929,1 \frac{kg}{m^3}$

$$120.000 \text{ gal} * \frac{3.78 \text{ l}}{1 \text{ gal}} = 453,600 \text{ l} * \frac{1m^3}{1.000 \text{ l}} = 453,6m^3$$

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow m = \rho * v = \left(929,1 \frac{kg}{m^3}\right) * (453,6m^3) = 421.439,76kg$$

$$\text{Cantidad de Energía del Aceite: } \left(38,22 \frac{MJ}{kg}\right) * (421.439,76kg)$$

$$= 16.107.427,63MJ * \frac{1BTU}{1,06x10^{-3}MJ} = 1,52x10^{10}BTU$$

→ **15.200 MBTU**: Cantidad de energía que Sandesol puede llegar a comercializar.

ANEXO E: Cotizaciones de equipos

Medellín, Octubre 12 de 2011

Señores
SANDESOL S.A.
Atn. José Luis Ortiz.
jlortizpacheco@gmail.com
Bucaramanga.

Asunto: Cotización tanques para almacenamiento de aceite 120.000 galones.

Respetado Ingeniero,

Para Industrias CENO S.A. es muy grato presentarle nuestra propuesta técnica y económica de los tanques verticales para almacenamiento de aceite, según información suministrada por ustedes.

1. ALCANCE

Nuestra oferta comprende los diseños estructurales, la elaboración de planos de taller, el suministro de materiales, la fabricación, transporte, ensamble y montaje en sitio (Bucaramanga) de los tanques para almacenamiento de aceite con una capacidad total de 120.000 galones.

Para el estudio de nuestra oferta tomamos como base los requerimientos indicados por ustedes, así como nuestra experiencia en estructuras similares.

Será responsabilidad del SANDESOL S.A.:

- Suministrar toda la información técnica necesaria para poder realizar los diseños estructurales, la ingeniería de detalle y los planos de taller acorde con las necesidades de la obra según lo definido en el cronograma de la propuesta.
- Garantizar un área disponible para el montaje de los tanques, la cual deberá estar perfectamente nivelada.
- Disponer de un área para la ubicación de las instalaciones provisionales de las oficinas y los almacenes.
- Suministrar los servicios básicos como energía eléctrica (440/220V trifásico) para la correcta ejecución de los trabajos, agua y servicios sanitarios.
- Realizar las obras civiles requeridas.
- Suministrar el agua requerida para la prueba de estanqueidad del tanque y realizar su llenado.
- Tener los permisos ambientales y otros que sean requeridos.

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Descripción:

Alternativa 1:

Cuatro tanques para almacenamiento de 30.000 gl c/u:

Tanques verticales con una capacidad de 30.000 gl c/u, diámetro interior de 5.79 m y altura de 4.5 m. El tanque se debe ensamblar en sitio.

Se consideran las siguientes conexiones y elementos para cada tanque.

Conexiones incluidas

- Manhole de techo de $\phi=24''$.
- Manhole de cuerpo de $\phi=24''$.
- 1 Pozo de lodos para succión de 2".
- Conexión bridada en techo para llenado de 6".
- 1 conexión bridada para válvula de alivio 10".
- 1 conexión bridada para medidor de flujo de 8".
- 1 conexión bridada para succión (bombeo) de 10".
- 1 Sistema de medición de nivel (Flotador-Contrapeso).
- 1 Escalera vertical interior.
- 1 Pasamanos superior.
- 1 Escalera helicoidal.

Las conexiones son supuestas y deberán ser revisadas y ubicadas con el Cliente.

Alternativa 2:

Dos tanques para almacenamiento de 60.000 gl c/u:

Tanques verticales con una capacidad de 60.000 gl c/u, diámetro interior de 6.75 m y altura de 6.34 m. El tanque se debe ensamblar en sitio.

Se consideran las siguientes conexiones y elementos para cada tanque.

Conexiones incluidas

- Manhole de techo de $\phi=24''$.
- Manhole de cuerpo de $\phi=24''$.
- 1 Pozo de lodos para succión de 2".
- Conexión bridada en techo para llenado de 6".
- 1 conexión bridada para válvula de alivio 10".
- 1 conexión bridada para medidor de flujo de 8".
- 1 conexión bridada para succión (bombeo) de 10".
- 1 Sistema de medición de nivel (Flotador-Contrapeso).

- 1 Escalera vertical interior.
- 1 Pasamanos superior.
- 1 Escalera helicoidal.

Las conexiones son supuestas y deberán ser revisadas y ubicadas con el Cliente.

Alternativa 3:

Un tanque para almacenamiento de 120.000 gl:

Tanque vertical con una capacidad de 120.000 gl, diámetro interior de 9.64 m y altura de 6.34 m. El tanque se debe ensamblar en sitio.

Se consideran las siguientes conexiones y elementos para cada tanque.

Conexiones incluidas

- Manhole de techo de $\phi=24"$.
- Manhole de cuerpo de $\phi=24"$.
- 1 Pozo de lodos para succión de 2".
- Conexión bridada en techo para llenado de 6".
- 1 conexión bridada para válvula de alivio 10".
- 1 conexión bridada para medidor de flujo de 8".
- 1 conexión bridada para succión (bombeo) de 10".
- 1 Sistema de medición de nivel (Flotador-Contrapeso).
- 1 Escalera vertical interior.
- 1 Pasamanos superior.
- 1 Escalera helicoidal.

Las conexiones son supuestas y deberán ser revisadas y ubicadas con el Cliente.

No se incluye:

- Ninguna conexión distinta a las enumeradas anteriormente.
- Ningún tipo de equipo, válvula (alivio, etc), accesorios eléctricos, compuertas, mirilla, etc.
- Ningún tipo de obra civil.
- Ningún tipo de pintura especial que se especifique para cara externa de la lámina del fondo del tanque que está en contacto con la fundación, si esta es diferente a la descrita en el acabado incluido en esta carta.
- Diseño de las cimentaciones.

En caso de adjudicación deben validarse los anteriores accesorios y su ubicación.

Cálculos:

Según API 650 Apéndice A, AISC 2005, NFPA 22

Industrias CENO S.A. ejecutará el diseño estructural del tanque a partir de la geometría del recipiente y de las características del producto almacenado, parámetros que serán definidos por SANDESOL S.A., garantizando el adecuado comportamiento del tanque bajo las acciones ejercidas por el material. SANDESOL S.A. definirá los sistemas de llenado, descarga, control ambiental y accesorios, además suministrará la información necesaria para la provisión de las respectivas conexiones, tomando todas las medidas necesarias para garantizar la adecuada operación de estos sistemas y su efectividad para prevenir la ocurrencia de condiciones anormales.

Materiales:

Usaremos materiales nuevos debidamente certificados. El material utilizado será: láminas ASTM A36, tubería ASTM A53 Gr B, ángulos y perfiles laminados en caliente ASTM A572 Gr 50.

Acabados:

Por la cara interior del tanque: no llevara ningún tipo de recubrimiento.

Por la cara exterior del tanque:

- Limpieza: Granallado grado ccial. (SSPC SP6 - SA2)
- Pintura base: Imprimante epóxico Rojo (4 mils).
- Intermedio: Barrera Epóxica (4 mils).
- Acabado: Esmalte uretano, color a definir (3 mils).

Pruebas y Certificaciones:

Como valor agregado a nuestra oferta se incluyen los costos necesarios para todas las pruebas de rutina en los procesos de recepción de materiales y fabricación, como son:

- Inspección dimensional de los materiales.
- Certificado de materiales expedidos por el proveedor.
- Inspección dimensional de los elementos fabricados.
- Pruebas radiográficas.
- Prueba de estanqueidad (SANDESOL S.A. suministrará el agua y llenado).

Pruebas especiales requeridas por el cliente no están incluidas en esta oferta.

Certificación de Calidad:

Nuestra empresa posee certificado de gestión de calidad NTC-ISO 9001:2008.

3. CONDICIONES COMERCIALES

Precio:

Nuestra oferta será por precio unitario fijo según los siguientes cuadros:

Medellín: Calle 88 No 45 - 90 Itagüí - PBX: (574) 444 50 11 – Fax: (574) 444 50 11 Ext.9
Bogotá: Calle 98 No 22 - 64 Of.301 - PBX: (571) 635 34 11 – Fax: (571) 635 34 11 Ext.9
Barranquilla: Parque Empresarial Río Norte, Intersección Vía 40 Circunvalar - PBX:(575) 377 34 30 Fax: (575) 377 34 35
Cali: Avda. 6ª A Bis No. 35N-100, Of. 711 Centro Empresarial Chipichape PBX: (572) 680 67 67 – Fax: (572) 680 62 92
www.industriasceno.com - NIT 890.900.573-1 – Colombia

Alternativa 1

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT (UND)	VLR UNT	VLR TOTAL
1	Tanque de 30,000 gl para aceite	Und	4	\$ 149.509.800	\$ 598.039.200
	Subtotal				\$ 598.039.200
	IVA del 16% sobre utilidad del 5%				\$ 4.784.314
	TOTAL				\$ 602.823.514

Alternativa 2

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT (UND)	VLR UNT	VLR TOTAL
1	Tanque de 60,000 gl para aceite	Und	2	\$ 236.536.620	\$ 473.073.240
	Subtotal				\$ 473.073.240
	IVA del 16% sobre utilidad del 5%				\$ 3.784.586
	TOTAL				\$ 476.857.826

Alternativa 3

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT (UND)	VLR UNT	VLR TOTAL
1	Tanque de 120,000 gl para aceite	Und	1	\$ 389.185.594	\$ 389.185.594
	Subtotal				\$ 389.185.594
	IVA del 16% sobre utilidad del 5%				\$ 3.113.485
	TOTAL				\$ 392.299.079

Nota:

No hemos considerado durante el tiempo que dure la obra ingeniero residente ni profesional en seguridad; en caso de ser requerido por ustedes nuestro precio deberá ajustarse.

IVA:

El impuesto al valor agregado IVA se cobrará al facturar de acuerdo con la tarifa que esté vigente. Sin embargo, por tratarse de un servicio de construcción, éste se liquidará sobre una utilidad esperada del 5%.

Forma de Pago:

Anticipo:

50% con cuenta de cobro de pago inmediato.

Facturación:

Cada 15 días contra avance de obra en Fabricación, Suministro y Montaje.

Plazo de Entrega:

A definir según cronograma del proyecto.

INDUSTRIAS CENO requiere una fase de planeación del proyecto en donde se deben definir todas sus variables técnicas, requisitos de diseño, etc, por lo tanto, el plazo de entrega rige a partir de la firma del ACTA DE INICIO, una vez se cuente con la información completa requerida para el inicio del proyecto y se haya realizado el pago de anticipo.

Validez:

Diez (10) días calendario.

La validez y el plazo de entrega se mantendrán siempre y cuando, antes de su aprobación, no se presenten hechos graves e impredecibles que modifiquen sustancialmente nuestros costos totales, como una súbita reevaluación monetaria, cambio en otros componentes, cambio radical en el precio del acero o problemas de fuerza mayor en el suministro de materia prima.

En caso de que nuestra oferta sea aceptada, agradecemos expedir el documento correspondiente (orden de compra, pedido etc.)

Garantías:

Industrias CENO S.A. ofrece un (1) año de garantía contra defectos de fabricación.

Adicionalmente, dentro de nuestros precios hemos considerado los costos de las siguientes pólizas:

- De cumplimiento.
- De buen manejo y correcta inversión del anticipo.
- De responsabilidad civil y extracontractual.
- De cumplimiento de salarios y prestaciones sociales.
- De estabilidad.

Retención en la fuente:

Ustedes deberán abstenerse de efectuar retención en la fuente, pues somos autorretenedores desde el 1° de julio de 1992, según resolución N° 0026 del 21 de abril de 1992.

Retención del IVA:

Somos grandes contribuyentes, razón por la cual ustedes no deben realizar retención del IVA.



I&C-34973A-11
Pág 7

4. OBSERVACIONES

Para cualquier información adicional sobre el producto, el contrato o aclaraciones pueden comunicarse con nosotros.

Esperamos que esta cotización se ajuste a sus expectativas técnicas y económicas para así poder prestarle un excelente servicio.

Cordialmente,

Claudio Duque Castro
Líder Comercial Negocio I&C

Diana María Salazar
Ingeniera de Cotizaciones Negocio I&C



FUNDADA EN 1958
PBX: 5643066 Tel: 2604706
Fax: 2613378
Cra. 53F No. 5c - 20
Bogotá - Colombia
www.proton-colombia.com

SANDESOL SA ESP

Atn: Ing. José Luis Ortíz
Tel: (8) 643 5757 – 313 442 9517
Email: jlortizpacheco@gmail.com
Bucaramanga

REF: COTIZACION SISTEMA MANEJO DE ACEITES

Respetados señores:

De acuerdo a su amable solicitud, tenemos el agrado de cotizar un sistema para manejo de aceites lubricantes automotores usados, con capacidad para procesar 1000 galones de aceite por día trabajando un turno de 8 horas diarias.

Características de entrada de los aceites usados:

- Volumen de aceite a tratar: 1.000 galones por día.
- Turnos de operación por día: 1 de 8 horas, operando 30 días por mes
- Contenido de agua: 0.2% a 33% Vol.
- Contenido sólidos (sedimentos): 0.1% a 4.2% Vol.
- Temperatura: No informada.
- Gravedad específica: 0.92 a 0.94
- Viscosidad cinemática @40C 20 a 26 cSt

Calidad del aceite a la salida:

- Temperatura: 80 a 100 C.
- Contenido de agua: Menor a 0.2%
- Sólidos: 99% menor a 10 micras.

Etapas de proceso para tratamiento del aceite lubricante usado.

- Separación gravimétrica aceite –agua.
- Filtración gruesa.
- Secado y acondicionamiento de aceite.
- Filtración fina.

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MAQUINARIA

Filtros Prensa, Rotativos, de Bolsa y de Cartucho, Lonas Filtrantes, Torres lavadoras de gases, Ciclones, Filtros de Mangas, Torres de enfriamiento, Sistemas de Vacío, Calderas de Aceite Térmico, Calderas de Vapor Clayton, Molinos Laminadores, Electro Imanes, Hornos, Secadores, Transportadores, Mezcladores, Plantas de Tratamiento de Agua, Bodegas Metálicas Modulares; Ingeniería conceptual, básica y de detalle, proyectos llave en mano. Representamos a: Filter Specialist INC, LENSER, FINSA, OTAM, CLAYTON, MACFUGE by SERVIZI INDUSTRIALI y HEFT.

COTIZACIÓN No 2111383
30 de diciembre de 2011
BOGOTÁ, D.C.

Certification



Equipos de proceso ofrecidos para el tratamiento del aceite usado:

- Un (1) separador gravimétrico cilíndrico vertical con fondo cónico, techo superior, patas de soporte al piso, provisto de aislamiento térmico y serpentín para calentamiento por circulación forzada, en acero al carbono.
- Un (1) filtro tipo canasta para retención de partículas gruesas, cilíndrico vertical con tapa superior removible para limpieza de la canasta, en acero al carbono.
- Una (1) bomba de trasiego desde el separador gravimétrico hasta el reactor para aceite ó el tanque colector de agua y residuos, en hierro fundido.
- Un (1) tanque colector de agua y residuos, cilíndrico vertical con fondo plano, abierto en la parte superior, en acero al carbono.
- Un (1) reactor para secado y acondicionamiento del aceite antes de filtración con capacidad para realizar un batch por día, para operación al vacío, de forma cilíndrico vertical con tapas bombeadas y patas de soporte al piso, con agitador, serpentín para calentamiento por circulación forzada y aislamiento térmico, en acero al carbono.
- Un (1) condensador de vapores generados en el reactor, tipo carcasa tubos de operación horizontal, construido en acero al carbono.
- Una (1) bomba de trasiego para alimentar el aceite acondicionado al filtro prensa, en hierro fundido.
- Un (1) filtro tipo prensa tipo placas y marcos para filtración fina del aceite que sale del reactor, para realizar entre 1 y 2 aperturas por día, con bastidor en acero al carbono, sistema de apertura y cierre tipo hidráulico manual, placas y marcos en hierro fundido, bandeja receptora de tortas en acero al carbono y un juego de telas filtrantes en polipropileno.
- Un (1) filtro tipo bolsa para filtración final (pulido) de aceite, cilíndrico vertical con tapa superior removible para remplazo de la bolsa filtrante, en acero al carbono
- Un (1) tanque receptor de aceite tratado, cilíndrico vertical con fondo plano y tapa superior cónica, construido en acero al carbono.
- Una (1) unidad para adición de tierras filtrantes al tanque reactor (manguera de succión y válvula de corte).
- Una (1) unidad de dosificación de químico (rompedor de emulsión), compuesto por una bomba dosificadora y las mangueras de succión y descarga.
- Acometidas hidráulicas, neumáticas y eléctricas de interconexión entre los equipos del sistema.
- Tablero eléctrico de fuerza y control en gabinete metálico de acero al carbono.

Sistemas auxiliares incluidos en el proceso de tratamiento:

- Un (1) generador de fluido de calentamiento (vapor), utilizando como combustible ACPM, con su respectivo tanque de condensados, bomba de alimentación y suavizador manual para agua de reposición.
- Una (1) torre de enfriamiento para el condensador de vapores del reactor construida en resinas de poliéster reforzadas con fibra de vidrio, ventilador axial con aspas en fibra de vidrio, relleno y eliminador en PVC.
- Una (1) bomba de recirculación de agua para la torre de enfriamiento, en hierro fundido.

- Una (1) unidad de vacío para generar el vacío en el reactor, compuesto por un tanque colector-separador de condensados y una bomba de vacío de anillo líquido.
- Acometidas hidráulicas, neumáticas y eléctricas de interconexión entre los equipos del sistema.
- Tablero eléctrico de fuerza y control en gabinete metálico de acero al carbono.

Requerimientos y límites de batería:

Energía eléctrica: Fuerza: 70 Kw, 3x440V, 60 Hz Control: 2 Kw, 1 x120V, 60 Hz, regulada y estabilizada.

Agua de reposición: Caldera: 0.4m³/h (50% recuperación). Torre enfriamiento: 1.0m³/h (estimado).

ACPM para caldera: 15.2 gph (a plena carga), 30 a 40 gal / día (estimado).

Tierras filtrantes: Por definir.

Químicos: Por definir.

- Diseños, bases y demás obras civiles requeridas, niveladas y con la resistencia adecuada para soportar los equipos del sistema, con sus respectivas cubiertas, cerramientos y protecciones. NOTA: Los equipos auxiliares deberán instalarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- Suministro de aceite lubricante a cero (0) m de la conexión de entrada al separador gravimétrico.
- Suministro de químico (rompedor de emulsión) a cero (0) m de la succión de la bomba de alimentación de químico al sistema. Por ahora se ha previsto un solo sistema de adición de químico. Si se requieren sistemas adicionales, estos se ofrecerán como equipos adicionales.
- Suministro de tierras para acondicionamiento del aceite en el reactor a cero (0) m de la succión de tierras al reactor.
- Suministro de combustible (ACPM) limpio a cero (0) m de la conexión de entrada al tanque de alimentación a la caldera.
- Suministro de agua de reposición (de acueducto filtrada) a cero (0) m de la conexión de entrada de agua de reposición a la caldera
- Suministro de agua de reposición (tratada) a cero (0) m de la conexión de entrada de agua de reposición a la piscina de la torre de enfriamiento.
- Entrega de aceite acondicionado en el tanque receptor de aceite filtrado, a temperatura entre 80 y 110 C.
- Entrega de agua y sedimentos en el tanque receptor de aguas.
- Entrega de condensados en el reactor a cero (0) m de la conexión de descarga del tanque separador al vacío, a temperatura entre 70 y 90C.
- Entrega de residuos sólidos provenientes de los filtros canasta, bolsa y filtro prensa en cada uno de los equipos donde se generan.
- Entrega de gases de combustión tal y como salen de la caldera @ temperatura entre 180 y 250 C a 15m de altura sobre el nivel del piso.
- Entrega de purgas de caldera a cero (0) m de la conexión de purgas de la caldera.

Exclusiones:

- Transporte, descargue, ensamble en sitio, arranque y puesta a punto del sistema.
- Diseños bases y demás obras civiles requeridas, niveladas y con la resistencia adecuada, así como las respectivas cubiertas, cerramientos y protecciones.
- Tanque de almacenamiento de combustible (ACPM), facilidades para cargue de combustible y trasiego al tanque de alimentación a la caldera.
- Tanques de almacenamiento para aceite usado y aceite tratado.
- Unidades para tratamiento de agua de reposición para caldera y torre de enfriamiento.
- Disposición de residuos como son: Agua y sedimentos, tortas filtrantes, purgas y drenajes, etc.
- Suministro de insumos.

CONDICIONES COMERCIALES

Valor del sistema de manejo de aceites
entregado en nuestras instalaciones \$ 650'000.000 + IVA

Lugar de entrega En nuestras instalaciones, Bogotá.

Plazo de Entrega 180 días después de recibida la orden de compra y el anticipo.

Condiciones de Pago 50% como anticipo. saldo para entregar los equipos.

Garantía:

INDUSTRIAS PROTON LTDA garantiza la calidad de los *EQUIPOS* por el término de un (1) año contado a partir de la fecha de entrega, pero no se hace responsable por daños ocasionados por mal manejo, utilización de productos diferentes a los especificados, deficiencias de los equipos auxiliares e instalaciones no suministradas por *INDUSTRIAS PROTON LTDA*, daños ocasionados por terremotos, incendios ó similares que no pueden ser imputados como responsabilidad de *INDUSTRIAS PROTON LTDA*, por mala fabricación ó incorrecto diseño. Siempre que aparezca la palabra *GARANTIA*, nuestra obligación por tal concepto cubre la reparación ó sustitución de las piezas ó equipo, pero no ampara pérdidas por lucro cesante, daños a otras instalaciones ó daño emergente.

Validez de la Oferta 30 días.

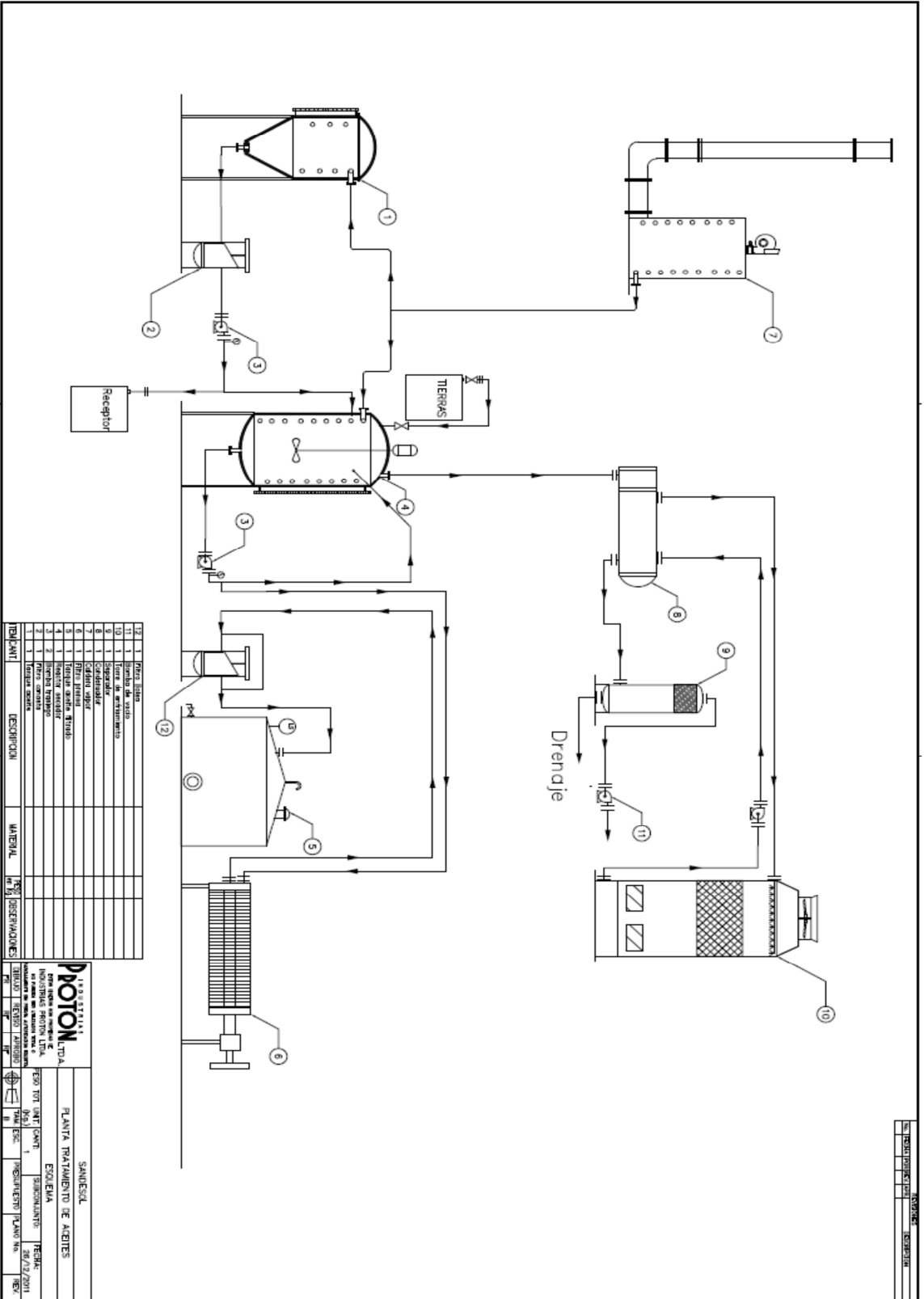
A la espera de poder resolver cualquier inquietud surgida al respecto.

Cordialmente,

INDUSTRIAS PROTON LTDA

ING. ERNESTO ALVAREZ OSPINA
TECNICO - COMERCIAL

ING. RAFAEL PERDOMO
JEFE DEPTO TECNICO



PROTON INDUSTRIAL
 CREA IDEAS EN MOVIMIENTO
 INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 INGENIERIA EN SISTEMAS DE AGUAS
 Y SANEAMIENTO

PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS
 ESCUELA
 SANEAMIENTO
 FECHA: 20/12/2011
 INGENIERO: [Firma]