

República de Cuba
Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. "Antonio Núñez Jiménez"
Facultad: Metalurgia y electromecánica
Departamento: Metalurgia

Trabajo de Diploma

Beneficio de petróleo crudo.



"Año 49 de la revolución"

Moa-2007

DECLARACION DE AUTORIDAD

Yo; Harmel Obami Ondon,

Autor de este trabajo de diploma certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad de la preparación de nuevos técnicos.

Firma del Diplomante

Firma del Tutor

Firma del Tutor

Pensamientos.

Nada puede detener a un hombre que posee la actitud mental correcta para lograr su meta. Nada en la tierra puede ayudar al hombre que posea una actitud mental equivocada.

W. W. Ziege

El camino hacia el éxito no debe ser recorrido con botas de siete leguas. Paso por paso, poco a poco, pedazo por pedazo, ese es el camino a la prosperidad, ese es el camino a la sabiduría, ese es el camino a la gloria.

Charles Buxton



AGRADECIMIENTOS

A los Drs. Amaury de los Milagros Palacios Rodríguez, Pedro Enrique Beyris Mazar y M Sc Rafael A. Castillo Díaz, por su asesoría científica y disposición desinteresada para ofrecermé ayuda.

A todos los profesores de mi Departamento de Metalurgia y del departamento de Química, por su apoyo, colaboración y ayuda incondicional.

*A los profesores de la Facultad de Metalurgia - Electromecánica en especial al profesor Dr. **Eulicer Fernandez Maresma**, por su colaboración en todos los sentidos y su apoyo para cumplir con ésta tarea.*

A los compañeros de las Empresas: Comandante Ernesto Che Guevara (CECHG) y Centro de Investigaciones del Níquel (CEINIQ).

A mis amigos y compañeros de aula y todos los que de un modo u otro contribuyeron con el desarrollo de la tesis.

DEDICATORIA

Largo ha sido el camino recorrido hasta ahora, mucho fue el sacrificio para lograr este éxito. Por todo eso dedico fraternalmente este trabajo a:

A mi mismo y a Dios, por haberme dado la voluntad y ánimo de lograr esta lucha.

A mis tutores y sus esposas, por su esmerada enseñanza.

A mi familia, que han sido mi inspiración, me han apoyado siempre y para que les sirva de ejemplo.

*A mis amigos de mi generación, **Crepin, Yann y Wesley.***

A mis amigos especiales de otras naciones, que para mí son hermanos:

- ***Ngagne Gueye de Senegal***
- ***Jose Antonio Ondo Alumu de Guinea-Ecuatorial,***
- ***Luis Neves de Cabo verde y a mi novia,***

- ***Daynis Olivero Olivero y su familia, por su apoyo, aliento y confianza.***

A la Revolución Cubana y Fidel, por las posibilidades que me han ofrecido de realizarme como hombre y profesional.

Resumen.

Las grandes reservas de petróleo requieren de un beneficio que permita una mayor facilidad en el proceso de destilación fraccionada del preciado recurso.

En el presente trabajo de diploma titulado *Beneficio de petróleo crudo* se realiza una investigación para la separación de especies metálicas y otras impurezas contenidas en este recurso natural.

El método densimétrico ha ocupado un espacio importante para lograr el objetivo propuesto, para extraer del petróleo crudo, por disolución con agua compuestos solubles contenidos en este, tomando en consideración la variación de la temperatura del proceso, la relación agua-petróleo y la agitación, para determinar la extracción de metales y el tiempo de separación de fases.

Los resultados de la investigación demuestran la posibilidad de separar algunas de las especies metálicas y otras impurezas que permite obtener un petróleo menos contaminado.

Palabras claves: beneficio de petróleo crudo, método densimétrico y separación de fases agua-petróleo.

Summary.

The big petroleum reserves require a benefit that allows a greater ease in the process of the fractional distillation of this valuable resource.

In this present thesis work, titled * Benefit of raw petroleum *, an investigation has been carried out on the separation of metallic species and other impurities contained in this natural resource.

The densimetric method has occupied an important space in the achievement of the proposed objective, to extract the crude petroleum, for the dissolution of soluble compounds contained in it with water, taking in consideration the variation of the temperature of the process, the water-petroleum ratio and the agitation, to determine the extraction of metals and the time of separation of phases.

The results of the investigation demonstrate the possibility to separate some of the metallic species and other impurities that allows to obtain a less contaminated petroleum.

Key words: Benefit of crude petroleum, densimetric method and separation of the water-petroleum phases.

Índice	pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I. MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACION.....	4
<i>I.1 Introducción.....</i>	<i>4</i>
<i>I.2 Antecedentes bibliográficos.....</i>	<i>4</i>
<i>I.3 Conclusión del Capítulo I.....</i>	<i>13</i>
CAPITULO II: CARACTERÍSTICAS DEL PETRÓLEO CRUDO.....	14
<i>II.1 Introducción.....</i>	<i>14</i>
<i>II.2 Historia</i>	<i>14</i>
<i>II.3 Definición.....</i>	<i>15</i>
<i>II.4 Formación del petróleo.....</i>	<i>16</i>
<i>II.5 Variedades de crudo.....</i>	<i>17</i>
<i>II.6 Características físicas y químicas del petróleo.....</i>	<i>18</i>
<i>II.7 Clasificación.....</i>	<i>24</i>
<i>II.8 Características del crudo utilizado.....</i>	<i>27</i>
<i>Conclusión del Capítulo II.....</i>	<i>27</i>
CAPITULO III. MATERIALES Y METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	28
<i>III.1 Introducción.....</i>	<i>28</i>
<i>III.2 Principales materiales de partida y equipos empleados.....</i>	<i>28</i>
<i>III.2.1 Materiales de partida.....</i>	<i>28</i>
<i>III.2.2 Equipos empleados.....</i>	<i>28</i>
<i>III.3 Condiciones de trabajo.....</i>	<i>28</i>
<i>III.3.1 Cálculo de velocidad de agitación.....</i>	<i>28</i>

<i>III.4</i>	<i>Parte</i>
<i>experimental.....</i>	29
<i>III.4.1 Diseño de Experimentos.....</i>	29
<i>III.4.2 Diseño factorial completo.....</i>	30
<i>III.5 Metodología de análisis estadístico.....</i>	30
<i>III.6 Descripción de la instalación</i>	
<i>experimental.....</i>	35
<i>III.7 Procedimiento Experimental.....</i>	36
<i>III.8 Técnicas de análisis químicos.....</i>	36
<i>III.9 Conclusión del capítulo III.....</i>	39
CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS.....	40
<i>IV.1 Introducción.....</i>	40
<i>IV.2 Estabilidad de la mezcla, con las diferentes condiciones de trabajo.....</i>	40
<i>IV.3 Composición del licor residual.....</i>	41
<i>IV. Análisis estadístico - matemático.....</i>	42
<i>IV.4.1 Modelación estadística-matemático.....</i>	42
<i>IV.4 Pre - Diseño de una instalación de banco (más de 25 L de volumen de mezcla)...</i>	45
<i>IV.6 Valoración económica y ecológica.....</i>	53
<i>IV.6.1 Costo de la Instalación.....</i>	53
<i>IV.6.2 Impactos ambientales</i>	54
<i>IV.7 Conclusión del capítulo IV.....</i>	54
Conclusiones.....	55
Recomendaciones.....	56
Bibliografía.....	57

INTRODUCCION

Desde la antigüedad el petróleo aparecía de forma natural en ciertas regiones continentales como la que hoy ocupan los países de Oriente Medio. Los asirios y babilonios lo usaban para pegar ladrillos y piedras; los egipcios, para engrasar pieles, hace 6.000 años atrás. En ese entonces, era utilizado con fines medicinales, en el embalsamamiento, para aceitar las ruedas de los carruajes y para engrasar pieles.

Sin embargo, la explotación de este recurso no llegaría sino hasta el año 100 antes de Cristo, cuando los chinos, de una manera bastante rústica extrajeron petróleo de la tierra. Su técnica, si es que así puede llamarse, consistía en buscar un lugar que pareciera adecuado para perforarlo con una caña de bambú y así extraer el petróleo. Sin embargo, a partir de 1850 comienza una etapa que se va a caracterizar por la comercialización, debido al descubrimiento de valiosas aplicaciones para este recurso natural, por ejemplo, el asfalto no sólo se utilizó para calafatear barcos (impermeabilizarlos), sino que también para la creación de caminos, así mismo, la parafina era utilizada en la fabricación de velas para iluminación, en el recubrimiento de quesos, pomadas para calzado, entre otros.

En Cuba, debido al duro bloqueo impuesto por el Gobierno de Estados Unidos, se ve obligado utilizar como combustible en las Centrales Eléctricas el Crudo Nacional teniendo en cuenta el daño que ocasiona el mismo a las instalaciones, por su alto contenido de azufre, especies metálicas y otros contaminantes, siendo una problemática actual en todas las Centrales Termoeléctricas y en otras industrias productoras de bienes y materiales del país.

Teniendo en cuenta los aspectos antes mencionados respecto a las consecuencias económicas que generan a las instalaciones, podemos señalar como:

Problema: No existencia de métodos de beneficio para el tratamiento del petróleo crudo contenedor de especies metálicas disueltas y otros elementos contaminantes.

Objeto de investigación: Proceso de beneficio densimétrico.

Hipótesis: Si se conocen las características físico-químicas del petróleo crudo, se podría aplicar el proceso de beneficio densimétrico para obtener petróleo limpio de especies metálicas y otros subproductos con valor agregado.

Objetivo de investigación: Beneficiar el petróleo crudo a través del método densimétrico para extraer las especies metálicas y otros subproductos disueltos en el mismo.

Las tareas específicas:

- Realización de una búsqueda bibliográfica.
- Caracterización del petróleo crudo.
- Análisis del proceso de beneficio.
- Diseño experimental.
- Preparación y realización de los experimentos.
- Obtención de un modelo estadístico-matemático.
- Análisis de los resultados y comprobación de la hipótesis planteada.
- Evaluación al impacto económico y ambiental del proceso.

CAPITULO I. MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACION

I.1 Introducción

En este capítulo, se realiza un análisis de la bibliografía existente que permita definir el estado del arte de nuestra investigación.

I.2 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

En el mundo se han desarrollado una serie de investigaciones con el petróleo, ya sea el crudo cubano, entre las vías investigadas para su tratamiento, como se puede ver a continuación las metodologías y soluciones planteadas por muchos autores.

El Ing. Isabel Morales, en 2000 desarrolló un trabajo titulado "Historia de la Industria Petrolera en Cuba", donde hizo referencia a las primeras empresas de refinación, como se puede apreciar a continuación.

En Cuba, en los años 1890, Standard Oil de Nueva Jersey, construyó la primera refinación de petróleo en la localidad de Regla, municipio capitalino situado al este de la bahía de La Habana; de reducidas dimensiones en sus inicios solo procesaba unos 8,000 barriles de crudo y así permaneció hasta la década de 1950 en que sus capacidades fueron ampliadas hasta permitir un procesamiento de 35,000 bpd.

En 1957 la angloholandesa Shell estrenó, también en la localidad de Regla y muy cerca de la anterior, una refinación con capacidad de procesar hasta 28,500 bpd, ese mismo año, en Santiago de Cuba, Texaco inauguraba otra planta refinadora con capacidad de 20,000 bpd., otras instalaciones menores también aparecieron en la geografía nacional entre las que cabe destacar la situada en Cabaiguán (centro del país) con capacidad de 2,000 bpd.

Todas las refinaciones situadas en suelo cubano fueron nacionalizadas en 1960 luego que se negaran a procesar el crudo que recién comenzaba a

llegar proveniente de la Unión Soviética; las refinerías de Regla resultaron unificadas y rebautizada con el nombre de Níco López, sus capacidades ampliadas paulatinamente hasta alcanzar un promedio de 120,000 bpd.; la refinería de Santiago de Cuba rebautizada Hermanos Díaz sufrió similar proceso alcanzando hasta 100,000 bpd., ambas, a pesar de los procesos de ampliación y “modernización” resultaban ser altamente contaminantes y con serias ineficiencias en sus respectivos flujos productivos.

En 2001, Juan Pedro en el Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG), realizó un trabajo investigativo llamado Origen y Composición del Petróleo, donde plantea que el carbón mineral, el petróleo y el gas natural, los combustibles fósiles de la naturaleza, no son sustancias puras. El carbón mineral, como su nombre lo indica, está constituido preponderantemente por carbono y en mucho menor proporción por hidrocarburos de alto peso molecular. El petróleo es una sustancia aceitosa de color oscuro a la que, por sus compuestos de hidrógeno y carbono, se le denomina hidrocarburo. El petróleo es un líquido insoluble en agua y de menor densidad que ella. Dicha densidad está comprendida entre 0.75 y 0.95 g/ml. Sus colores varían del amarillo pardusco hasta el negro. Ese hidrocarburo puede estar en estado líquido o en estado gaseoso. En el primer caso es un aceite al que también se le denomina petróleo crudo. En el segundo se le conoce como gas natural. En cuanto al gas natural, está constituido preponderantemente por metano, que es el más simple de los hidrocarburos pues contiene un solo átomo de carbono. En menos proporción puede contener hidrocarburos de hasta 4 átomos de carbono y, además, anhídrido carbónico e impurezas como sulfuro de hidrógeno.

En 2002, Laboratorio de Física de Líquidos y Electrorreología, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, Magdalena Mechetti y Carlos Pelaez Uribe, realizaron un trabajo investigativo titulado APLICACIÓN DE LA FÍSICA EN EL TRATAMIENTO DEL PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS – ESTADO DEL ARTE, donde expusieron que no existen dudas en cuanto a que en la industria del petróleo y derivados, muchos de los

problemas que surgen en las distintas etapas de producción pueden ser resueltos desde la física y es desde esta disciplina que uno encuentra mayoritariamente nuevas tecnologías o tecnologías avanzadas de producción. La literatura utilizada, es profusa en técnicas y metodologías basadas en la física y su interrelación con otras disciplinas. Así pudieron encontrar estudios viscosimétricos, reológicos, dieléctricos, de tensión interfacial, gravimétricos, de conductividad, de transmisión de luz, de microscopía, y otros, para caracterizar un petróleo o estudiar algún comportamiento anómalo. En este trabajo presentaron el estado del arte en relación a la aplicación de campos eléctricos y magnéticos en el estudio, caracterización y tratamiento de crudos.

En 1998, la Unidad de Investigación y Desarrollo Tecnológico de PETROECUADOR, Facultad de Ingeniería Química EPN. David Martínez y Fabián Egüez, realizaron un estudio de Formulación de emulsiones de petróleos pesados en agua, donde plantearon que la necesidad de estudiar otras formas de disminuir la viscosidad del petróleo pesado, por medio de reductores de fricción, calentamiento del crudo y formulación de emulsiones. Estudios realizados en laboratorio, demostraron que las emulsiones de petróleo pesado en agua tienen una viscosidad 10 a 12 veces menor que la viscosidad del petróleo pesado. La siguiente fase del proyecto se debe caracterizar el comportamiento de flujo de las emulsiones en condiciones más cercanas a las reales del oleoducto, propósito de su trabajo.

Ing. Rubio Avila José de Jesús, en 2004 para obtener el grado de maestro en ciencias en la especialidad de control automático, investigó sobre la Modelación y Optimización del Mezclado de Petróleo Crudo con Redes Neuronales. Las operaciones de mezclado son muy comunes en las industrias petroquímicas, cementeras, de refinación, etc. La operación consiste en obtener una mezcla de dos o más componentes con diferentes propiedades a una especificación requerida como son temperatura, densidad, flujo, etc. El control de estas operaciones se considera un punto muy importante dentro de este tipo de industrias, ya que su rentabilidad depende de estas operaciones. Por ejemplo, en las industrias petroleras se ha visto que realizar de manera constante las

operaciones de mezclado de petróleo crudo con técnicas de control avanzadas podría garantizar condiciones favorables y reportar beneficios económicos muy importantes, como en el caso del crudo ligero.

Es muy común que las propiedades de los componentes a mezclar varíen de una manera indeterminada y que las reglas de mezclado utilizadas contengan términos no lineal es sin modelar, llevando a un modelo inadecuado del proceso y como consecuencia que el control adorno encuentre el punto de operación óptimo. Para garantizar las especificaciones requeridas en una operación de mezclado y manejar incertidumbres en el modelo y él propuso utilizar un controlador retroalimentado llamado controlador optimizante.

Goldman Sachs, uno de los mayores comerciantes financieros en el sector de artículos, emitió un informe investigativo el 31 de marzo, 2005 en el cual advirtió que los mercados de crudo habían entrado en un período de "repunte" que podrían ver surgir los precios de 1970 - tan altos como \$105 por barril. Para el periodo inmediato, la nota investigativa elevó las previsiones de crudo del New York Mercantile Exchange del 2005 y 2006 a \$50 y \$55 respectivamente, de \$41 y \$40. El analista de Goldman Sachs Arjun Murti agregó que el "súper repunte" resultará en una venta comercial plurianual de altos precios del crudo lo suficiente para reducir el consumo de energía significativamente y recrear un colchón en capacidad de repuesto sólo después que bajarán los precios de retorno". Un oficial en la Compañía de Inversiones de Petróleo Árabe, una compañía de propiedad conjunta de 10 miembros de la OPEP, ha sugerido que el precio del petróleo crudo en los próximos cinco años estará en el rango de los \$45 y \$50 por barril. En un seguimiento emitido el 18 de agosto, Goldman Sachs declaró su expectativa a que los precios del crudo americano benchmark (Intermedio West Texas o WTI) permanecerán por encima de los \$60 por barril para el resto de la década, una cifra de \$15 superior a su anterior estimado, colocado a principios de este año. Es significativo que los mercados de artículos también estén esperando que el precio permanezca alto. Por ejemplo, los contratos de la WTI a futuro están colocados a precios superiores de \$60 hasta junio del 2008. Claramente, incluso la interrupción más pequeña en el flujo de petróleo en cualquiera de los países productores, y

especialmente en Arabia Saudita, podría enviar ondas de conmoción al mercado del crudo que tendría como resultado la previsión de Goldman Sachs a una pesadilla de \$105 por barril a que se convierta en realidad. De hecho, la interrupción de suministros de cualquiera de los otros proveedores principales de crudo a los Estados Unidos, México, Venezuela, Nigeria, Emiratos Árabes Unidos o Angola, podría tener efectos similares.

www.biodiversidadla.org, explica el impacto ambiental de la explotación petrolera en América latina. Se refleja que la actividad petrolera es la que más impactos ambientales genera a nivel local y global. Las distintas fases de la explotación petrolera generan destrucción de la biodiversidad y del ambiente en general. Por otro lado, la quema de combustibles fósiles constituye la principal causante del calentamiento global.

Los impactos en las poblaciones locales que viven alrededor de la infraestructura petrolera, se evidencian aun antes de que se inicie cualquier operación. Cientos de comunidades han sido desplazadas alrededor del mundo para dar paso a la industria petrolera, y cuando la gente tiene que convivir con esta industria, enfrenta serios problemas de salud, de pérdida cultural y de violencia.

Anayansi y Teresa de Ruiz, Estudiantes de Maestría de Administración Industrial en la Universidad Tecnológica de Panamá www.monografias.com/trabajos5/petroleo/petroleo.shtml, desarrollaron un trabajo acerca del petróleo y su proceso de refinación, el propósito general del trabajo fue informar de la importancia del petróleo en la vida. Además, explicaron claramente, los métodos de prospección más conocidos y como algunas de las ciencias que conocen, y ni sospechan, ayudan a ello. Observaron que el proceso de refinación del crudo es bastante complejo y bastante delicado, se hacen muchas pruebas antes de poner a la venta el producto final. Lo que permitió hablar de sus derivados, los cuales son muy extensos, y determinaron la gran cantidad de productos que se utilizan en la vida practica como derivados del petróleo. Igualmente, mencionaron las posibles alternativas de energía en caso de que los yacimientos existentes en el mundo queden agotados, algo poco probable por

ahora. Finalmente mencionaron el régimen fiscal de algunos países hacia éste tan importante producto.

<http://www.citmahabana.cu/resultados.htm>, expone los resultados del 2002-2003 de los recursos naturales, indicado que la extracción del crudo nacional, se ha incrementado, introduciéndose en los principales renglones de la economía del país como única alternativa posible para enfrentar el bloqueo y la crisis económicas con los recursos. Esto ha representado un ahorro en recursos para la economía nacional y la única vía para el desarrollo. Para el año 2003 se planificó un incremento notable del plan de extracción del crudo a 2 380 MMt con la perforación de nuevos pozos petrolíferos. El plan hasta la fecha se cumple en un 61% y se prevé llegar a los dos millones al cierre del año. La innovación tecnológica ha sido decisiva en este proceso productivo, tanto en la asimilación de las transferencias tecnológicas como en el mantenimiento y reanimación de la tecnología existente en el país. Entre ellas encontraron:

- Modificación en el esquema tecnológico de tratamiento de petróleo.
- Aumento de la eficiencia en el proceso de deshidratación termoquímica del petróleo en la planta de tratamiento.
- Determinación del contenido de gas en la entrada de petróleo.
- Reanimación del tratamiento de Boca de Jaruco y Ampliación de la planta.
- Aplicación de la Tecnología Horizontal
- Utilización práctica de los registros de imágenes FMI y FMS para definir el modelo geológico de los yacimientos.
- Incremento de producción de petróleo ligero-medio.
- Integración de los métodos geoquímicos y geofísicos de pozos para la revelación y estudio de los reservorios.

González (2006), hizo un estudio de petróleo, polímeros y sus derivadas, y planteó que, el petróleo es la fuente de energía más importante de la sociedad actual, si nos ponemos a pensar qué pasaría si se acabara repentinamente, enseguida nos daríamos cuenta de la dimensión de la catástrofe: los aviones, los automóviles y autobuses, gran parte de los ferrocarriles, los barcos, las máquinas de guerra, centrales térmicas, muchas calefacciones dejarían de funcionar; además de que los países dependientes del petróleo para sus economías se hundirían en la miseria. Así mismo, sus derivados son de gran importancia en la vida moderna, puesto que casi todo lo que se compra, se ve, y se toca están fabricados con polímeros u algún otro tipo de material subderivado de los polímeros. Es así que en este trabajo estudiaron a fondo lo que son los polímeros, sus características, productos obtenidos ó fabricados con ellos, los tipos de polímeros existentes, las aminas, y demás conceptos relacionados con el petróleo, sus derivados y su proceso de obtención.

En 2005, Gusmaiker, realizó un trabajo investigativo titulado Beneficio del crudo Cubano, que tenía como una de las tareas, dar a conocer la composición físico-química del combustible utilizado en el proceso de generación de vapor en el ISMM. Estableció una tecnología que consiste en la emisión de agua en petróleo. Dado a conocer la emisión, los beneficios que se logran con esta tecnología en la quema del combustible, la medición de los gases a la salida de la chimenea, la reducción de partículas en quemadas, las emisiones de los gases contaminantes a la atmósfera. La determinación del tratamiento de agua que se utiliza como sustancia de trabajo para una mayor calidad del vapor. Tuvo buenos resultados en su trabajo investigativo, donde logró una mejoramiento de las propiedades del mismo. Pero no tuvo en cuenta la separación de las fases de las emulsiones.

Carbonell (2005), también desarrolló una investigación sobre una fundamentación teórica acerca del proceso de emulsiones y de la planta de beneficio de crudo cubano ubicada en el área de las calderas del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Antonio Núñez Jiménez". Se realizaron experimentos para detectar la eficiencia del proceso y evaluar el impacto que puede tener su utilización. Se evaluó la posibilidad de controlar las variables presentes en el

modelo de esta planta, para la cual, este fue descrita y expuesta con sus características. Se propone un sistema de control para esta instalación y se tienen presentes las posibilidades reales para las evaluaciones de los experimentos y se deja abierto el tema del trabajo, por el gran volumen y formas de observación que tiene el mismo. Se deben elegir los instrumentos adecuados para poder medir las concentraciones de cada una de las sustancias presentes en las emulsiones, o sea el control del proceso. Debido a las condiciones que tenían y su objetivo de trabajo, se puede apreciar buenos resultados.

En el mismo año, Leer realizó otro estudio sobre el crudo cubano, donde planteó que el resultado del duro bloqueo impuesto por el Gobierno de Estados Unidos al país, se ve obligado utilizar como combustible en las Centrales Eléctricas el Crudo Nacional teniendo en cuenta el daño que ocasiona el mismo a las instalaciones, por su alto contenido de azufre, siendo una problemática actual en todas las Centrales Termoeléctricas y en otras industrias productoras de bienes y materiales del país. Siguiendo el modelo de evaluación establecido en metodologías de cálculo que demostró exactitud y de acuerdo a las lecturas tomadas para diversos parámetros y del análisis riguroso de los mismos, comprobó la eficiencia actual de la Central Termoeléctrica. Planteó que con el desarrollo del trabajo determinó el comportamiento actual del combustible crudo cubano, utilizado en los últimos años en las centrales, y su influencia en el rendimiento del generador de vapor. Se obtuvieron buenos resultados en el trabajo, pero al igual que otras investigaciones, no estableció un sistema de control del proceso, para poder determinar las concentraciones de los contaminantes en el petróleo.

(<http://www.ilo.org>) 1995 aborda los principales países productores del petróleo, se resumen los porcentajes de estos y la forma actual de exploración del petróleo, aplicando el avance científico. El petróleo es quizás la materia prima más útil y versátil de las explotadas. En 1995, el primer productor fue Arabia Saudita, que produjo unos 426,5 millones de toneladas, es decir un 13,2%. La producción mundial fue de 3.234,6 millones de toneladas, de las cuales, Estados Unidos produjo un 11,9%, la Comunidad de Estados Independientes (CEI) un 11,0%, Irán un 5,7%, México un 4,9%, China un 4,6% y Venezuela un 4,5 por ciento.

Hoy día, en las etapas de prospección se utilizan técnicas sofisticadas, como mediciones sísmicas, de microorganismos e imágenes de satélite. Potentes computadoras asisten a los geólogos y geofísicos para interpretar sus descubrimientos. A pesar de ello, esta actividad está plagada de incertidumbres, máxime si se tiene en cuenta que sólo quedan por explorar aquellas áreas denominadas marginales puesto que los yacimientos "más fáciles" de ubicar ya han sido descubiertos y explotados. Finalmente, sólo la perforación puede determinar si existe o no petróleo bajo la superficie.

I.3 Conclusión del Capítulo I

Los estudios e investigaciones realizadas no ofrecen una solución integral a la separación de especies metálicas y contaminantes del petróleo crudo por métodos de beneficio.

CAPITULO II: CARACTERÍSTICAS DEL PETRÓLEO CRUDO.

II.1 Introducción

El objetivo de este capítulo, es caracterizar el petróleo crudo para su posterior beneficio.

II.2 Historia

El petróleo es conocido desde épocas bíblicas, a veces mencionado como asfalto, otras como alquitrán o betún. Sus aplicaciones eran bastante limitadas: para calafatear o impermeabilizar las embarcaciones o el gas de petróleo para la cocción de alimentos. Su transcurso por la edad media se diluye, utilizándolo casi exclusivamente con fines medicinales.

En el siglo XVIII, empiezan a perfeccionarse los primitivos métodos de refinación, obteniéndose productos derivados principalmente para el engrase de máquinas. Y ya en el siglo XIX se comienzan a producir aceites fluidos que se utilizan para el alumbrado; esto irá acompañado por otro hecho: la obtención de kerosén, incrementando su aplicación con fines de iluminación.

Sin embargo, el inicio de la era del petróleo se la ubica en 1859 en torno de la primera perforación petrolera del mundo, en Pensilvania, construido por Edwin Drake en Estados Unidos. También fue Drake quien ayudó a crear un mercado para el petróleo al lograr separar el kerosén del mismo. Este producto sustituyó al aceite de ballena empleado en aquella época como combustible en las lámparas, cuyo consumo estaba provocando la desaparición de estos animales.

Pero fue con la invención del automóvil cuando el petróleo comenzaría a consumirse en grandes cantidades. En efecto, la gasolina – que hasta ese momento era desechada por completo – resultó fundamental para el crecimiento y aplicación de los motores a explosión.

Desde entonces, el incremento de la industria petrolera y los adelantos técnicos, han llevado al aprovechamiento de todos los productos derivados: gases licuados,

aceites pesados, gasolinas, kerosén, parafinas, etc. Además, todos los derivados del petróleo así como la sustancia misma, son aprovechados por la industria petroquímica para la obtención de variedad de productos.

II.3 Definición.

El petróleo es un líquido aceitoso, inflamable, cuyo color varía de incoloro a negro y está formado por una mezcla de hidrocarburos.

El aceite mineral o petróleo se encuentra en el interior de la tierra y se compone principalmente de carbono e hidrógeno; lo que significa que es un hidrocarburo y no un mineral, ya que procede de sustancias orgánicas. La palabra petróleo, proviene de las voces latinas *petra* y *oleum*, que significan piedra y aceite, no porque sea aceite de piedra, sino por estar aprisionado entre piedras.

El petróleo es un fluido algo espeso cuyo color variable, así como su composición. A veces se presenta amarillo, otras verde, y otras casi negro.

Generalmente tiene un olor muy desagradable y su densidad está comprendida entre 0,8 y 0,95 g/cm³. En composición varía tanto como en color, y en este sentido nos recuerda al carbón. Según el Diccionario Enciclopédico Ilustrado Océano Uno, petróleo es un:

"Líquido aceitoso, de color oscuro, olor característico, más ligero que el agua, constituido por una mezcla de hidrocarburos líquidos naturales, que se encuentra generalmente almacenado en rocas del interior de la corteza terrestre", mientras que la definición que encontramos en el Diccionario Hispánico Universal, aunque similar, es un poco más completa:

"Líquido oleoso más ligero que el agua y de color oscuro y olor fuerte; se encuentra nativo en lo interior de la Tierra y a veces forma grandes manantiales. Es una mezcla de carburos e hidrógeno, que arde con facilidad, y después de refinado tiene diversas aplicaciones".

Al igual que el carbón, el petróleo se encuentra a distintas profundidades en la tierra. En algunos lugares sólo hay que perforar algo más de quince metros para encontrarlo, mientras que en otros es necesario llegar hasta profundidades de dos mil o más metros.

El petróleo está almacenado en la Tierra en capas o estratos de roca porosa, tal como la piedra caliza o la arenisca, o en capas de arena o sobre una capa impermeable. Cuando estos estratos se encuentran cubiertos con rocas más duras, tenemos un campo petrolífero ideal.

II.4 Formación del petróleo

Los técnicos creyeron durante algún tiempo que el petróleo era de origen inorgánico, es decir, que se había formado dentro de la tierra mediante reacciones químicas.

Hoy día, los hombres de ciencia, convienen de manera casi general en que el petróleo se origina de una materia prima formada principalmente por detrito de organismos vivos acuáticos, vegetales y animales, que vivían en los mares, las lagunas o las desembocaduras de los ríos, en las cercanías del mar y que han permanecido enterradas por largos siglos.

El petróleo se encuentra únicamente en los medios de origen sedimentario. La materia orgánica se deposita y se va cubriendo por sedimentos; al quedar cada vez a mayor profundidad, se transforma en hidrocarburos, proceso que según las recientes teorías, es una degradación producida por bacterias aerobias primero y anaerobias luego. Estas reacciones desprenden oxígeno, nitrógeno y azufre, que forma parte de los compuestos volátiles de los hidrocarburos. A medida que los sedimentos se hacen compactos por efectos de presión, se forma la "roca madre". Posteriormente, por fenómenos de "migración", el petróleo pasa a impregnar arenas o rocas más porosas y más permeables (areniscas, calizas fisuradas, dolomías), llamadas "rocas almacén", y en las cuales el petróleo se concentra, y permanece en ellas si encuentra alguna trampa que impida la migración hasta la superficie donde se oxida y volatiliza.

II.5 Variedades de crudo

Cada yacimiento de petróleo está constituido por una mezcla de miles de hidrocarburos diferentes, formados por la asociación de átomos de carbono e hidrógeno, cuyo origen todavía es mal conocido; a esta mezcla se agregan cantidades variables de sustancias que contienen azufre, nitrógeno y oxígeno: de los más de 1.500 campos petrolíferos conocidos, no se han encontrado aún dos crudos exactamente iguales.

Según la predominación de uno de los compuestos característicos, se pueden clasificar los petróleos en:

1. crudos parafínicos, presentan una proporción elevada de hidrocarburos tipo C_nH_{n+2} particularmente parafinas y ceras naturales (Pennsylvania, Libia);
2. crudos nafténicos, con una cantidad más grande de naftenos, hidrocarburos de la serie anulares o cíclicos (Venezuela);
3. crudos aromáticos, en los que se encuentran hidrocarburos bencénicos C_nH_{n-6} (Borneo);
4. crudos sulfurosos, que contienen sulfuro de hidrógeno y mercaptanos formados por la fijación de azufre sobre un hidrocarburo (Oriente Medio);
5. crudos particulares, como los crudos bituminosos, que son los crudos de muy bajo contenido en azufre, y los crudos polucionados por ácidos, metales (vanadio, níquel, arsénico), sales, agua salada, etc.

Por otro lado, algunos hidrocarburos raros o ausentes en el petróleo bruto son sintetizados por cracking o por hidrogenación y se encuentran en los productos petrolíferos después del refino y en petroquímica; tales son las olefinas o hidrocarburos etilénicos C_nH_{2n} con doble enlace entre los átomos de carbono, los hidrocarburos aromáticos o el acetileno.

Para dilucidar la naturaleza compleja del petróleo crudo y sus derivados, se han tenido que poner a punto procedimientos que permiten determinar la composición

y las características físico-químicas de los diferentes productos, después estudiar su comportamiento, primero por ensayos de simulación en laboratorio, después en el curso de su utilización real ulterior. En particular métodos de análisis muy rigurosos se han desarrollado y normalizado, primero en Estados Unidos, después en el mundo entero, para asegurar que la calidad de los derivados del petróleo está definida de manera incontestable antes de ser entregados para su consumo.

II.6 CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL PETROLEO.

- **Características del Petróleo:**

El petróleo contiene elementos gaseosos, líquidos y sólidos. La consistencia del petróleo varía desde un líquido tan poco viscoso como la gasolina hasta un líquido tan espeso que apenas fluye. Por lo general, hay pequeñas cantidades de compuestos gaseosos disueltos en el líquido; cuando las cantidades de estos compuestos son mayores, el yacimiento de petróleo está asociado con un depósito de gas natural. Existen tres grandes categorías de petróleo crudo: de tipo parafínico, de tipo asfáltico y de base mixta. El petróleo parafínico está compuesto por moléculas en las que el número de átomos de hidrógeno es siempre superior en dos unidades al doble del número de átomos de carbono. Las moléculas características del petróleo asfáltico son los naftenos, que contienen exactamente el doble de átomos de hidrógeno que de carbono. El petróleo de base mixta contiene hidrocarburos de ambos tipos.

- **Color:**

Generalmente se piensa que todos los crudos son de color negro, lo cual ha dado origen a cierta sinonimia y calificativos: "oro negro", "más negro que el petróleo crudo". Sin embargo por transmisión de la luz, los crudos pueden tener color amarillo pálido, tonos de rojo y marrón hasta llegar a negro. Por reflexión de la luz pueden aparecer verdes, amarillos con tonos azules, rojo, marrón y negro. Los crudos pesados y extrapesados son negro casi en su totalidad. Crudos con altísimo contenido de cera son livianos y de color amarillo; por la noche al bajar

bastante la temperatura tienden a solidificarse notablemente y durante el día, cuando arrecia el sol, muestra cierto hervor en el tanque. El crudo más liviano o condensado llega a tener un color blanquecino, lechoso y a veces se usa en el campo como gasolina cruda.

- **Olor:**

El olor de los crudos es aromático como el de la gasolina, del queroseno u otros derivados. Si el crudo contiene azufre tiene un olor fuerte y hasta repugnante, como el de huevo podrido. Si contiene sulfuro de hidrogeno, los vapores son irritantes, tóxicos y hasta mortíferos. Para atestiguar la buena o rancia calidad de los crudos es común que la industria los designe como dulces o agrios.

- **Densidad:**

Los crudos pueden pesar menos que el agua (livianos y medianos) o tanto o más que el agua (pesados y extrapesados). De allí que la densidad pueda tener un valor de 0,75 a 1,1. Estos dos rangos equivalen a 57,2 y -3 °API (API es la abreviatura de American Petroleum Institute).

La densidad, la gravedad específica o los grados API denotan la relación correspondiente de peso específico y de fluidez de los crudos con respecto al agua.

$$\text{Gravedad Especifica} = 140 / 130 + n.$$

$$\text{Gravedad Especifica} = 145 / 145 - n.$$

n= representa la lectura en grados indicada por el hidrometro Baumé inmerso en el liquido.

La ecuación general de API es la siguiente:

$$\text{Gravedad especifica} = 141,5 / 131,5 + \text{°API}.$$

(a 60 °F ó 15,5 °C).

$^{\circ}\text{API} = 141,5 / \text{gravedad específica} - 131,5$

La clasificación de los crudos por rango de gravedad $^{\circ}\text{API}$ utilizada en la industria venezolana de los hidrocarburos, a 15,5 °C (60 °F) es como sigue:

Extrapesados, menos de 16 °.

Pesados, menos de 21,9 °.

Medianos 22,0 – 29,9 °.

Livianos 30 ° y más.

Superlivianos 40 ° en adelante.

- **Sabor:**

El sabor de un crudo es una propiedad que se torna importante cuando el contenido de sal es bastante alto. Esta circunstancia requiere que el crudo sea tratado adecuadamente en las instalaciones de producción del campo para ajustarle la sal al mínimo (gramos por metro cúbico) aceptable por compradores y refinerías.

- **Índice de refracción:**

Medido con un refractómetro, los hidrocarburos acusan valores de 1,39 a 1,49. Se define como la relación de la velocidad de la luz al pasar de uno a otro cuerpo.

- **Coefficiente de expansión:**

Varía entre 0,00036 y 0,00096. Temperatura °C por volumen.

- **Punto de ebullición:**

No es constante, Debido a sus constituyentes varía algo menos que la temperatura atmosférica hasta la temperatura igual o por encima de 300 °C.

- **Punto de congelación:**

Varía desde 15,5 °C hasta la temperatura de -45 °C. Depende de las propiedades y características de cada crudo o derivado. Este factor es de importancia al considerar el transporte de los hidrocarburos y las estaciones, principalmente el invierno y las tierras gélidas.

- **Punto de deflagración:**

Varía desde -12 °C hasta 110 °C. Reacción vigorosa que produce calor acompañado de llamas y/o chispas.

- **Punto de quema:**

Varía desde 2 °C hasta 155 °C.

- **Poder calorífico:**

Puede ser entre 8.500 a 11.350 calorías/gramo. Entre BTU/libra puede ser de 15.350 a 22.000. (BTU es la unidad térmica británica).

- **Calor específico:**

Varía entre 0,40 y 0,52. El promedio de la mayoría de los crudos es de 0,45. Es la relación de cantidad de calor requerida para elevar su temperatura un grado respecto a la requerida para elevar un grado la temperatura de igual volumen o masa de agua.

- **Calor latente de vaporización:**

Para la mayoría de los hidrocarburos parafínicos y metilenos acusa entre 70 a 90 kilocalorías/kilogramo ó 130 a 160 BTU/libra.

- **Viscosidad:**

La viscosidad es una de las características más importantes de los hidrocarburos en los aspectos operacionales de producción, transporte, refinación y petroquímica. La viscosidad, que indica la resistencia que opone el crudo al flujo interno, se obtiene por varios métodos y se le designa por varios valores de medición. El poise o centipoise (0,01 poise) se define como la fuerza requerida en dinas para mover un plano de un centímetro cuadrado de área, sobre otro de igual área y separado un centímetro de distancia entre sí y con el espacio relleno del líquido investigado, para obtener un desplazamiento de un centímetro en un segundo. La viscosidad de los crudos en el yacimiento puede tener 0,2 hasta más de 1.000 centipoise. Es muy importante el efecto de la temperatura sobre la viscosidad de los crudos, en el yacimiento o en la superficie, especialmente concerniente a crudos pesados y extrapesados.

- Viscosidad relativa: es la relación de la viscosidad del fluido respecto a la del agua. A 20 °C la viscosidad del agua pura es de 1.002 centipoise.
- Viscosidad cinemática: es equivalente a la viscosidad expresada en centipoises dividida por la gravedad específica, a la misma temperatura. Se designa en stokes o centistokes.
- Viscosidad Universal Saybolt: representa el tiempo en segundos para que un flujo de 60 centímetros cúbicos salga de un recipiente tubular por medio de un orificio, debidamente calibrado y dispuesto en el fondo del recipiente, el cual se ha mantenido a temperatura constante.

- **Composición química del Petróleo:**

La composición elemental del petróleo normalmente está comprendida dentro de los siguientes intervalos:

Tabla #II.1

Elemento	Peso(%)
Carbono	84 - 87
Hidrógeno	11 - 14
Azufre	0 - 2
Nitrógeno	0.2

El Petróleo se compone con una mezcla de hidrocarburos, es decir, compuestos de hidrógeno y carbono. Mezclados con unos pocos compuestos de azufre, oxígeno, vanadio, nitrógeno y otros elementos. El contenido de azufre varía entre un 0,1 y un 5%. El petróleo se forma bajo la superficie terrestre por la descomposición de organismos marinos. Los restos de animales minúsculos que viven en el mar y, en menor medida, los organismos terrestres arrastrados al mar por los ríos o los de plantas que crecen en los fondos marinos, se mezclan con las finas arenas y limos que caen al fondo en las cuencas marinas tranquilas. Estos depósitos ricos en materiales orgánicos, se convierten en rocas generadoras de crudo.

II.7 Clasificación:

El petróleo tiene diferentes forma de clasificarlo, ya sea por su densidad o por la composición química que tiene el mismo, es decir por la clase de hidrocarburos.

En basa de la clase de hidrocarburos que predominan:

Petróleo de base parafínicas: Predominan los hidrocarburos saturados o parafínicos.

Son muy fluidos de colores claros y bajo peso específico (aproximadamente 0,85 kg./L).

Por destilación producen abundante parafina y poco asfalto.

Son los que proporcionan mayores porcentajes de nafta y aceite lubricante. Pertenecen a este tipo los Vespucio (Salta) y Tupungato (Mendoza) en nuestro país.

Petróleo de base asfáltica o nafténica: Predominan los hidrocarburos etilénicos y diétilínicos, cíclicos ciclónicos (llamados nafténicos), y bencénicos o aromáticos.

Son muy viscosos, de coloración oscura y mayor peso específico (aproximadamente 0,950 kg/L)

Por destilación producen un abundante residuo de asfalto. Las asfaltitas o rafealitas argentinas fueron originadas por yacimientos de este tipo, que al aflorar perdieron sus hidrocarburos volátiles y sufrieron la oxidación y polimerización de los etilénicos.

A este tipo de yacimientos pertenecen algunos de Comodoro Rivadavia.

Petróleo de base mixta: De composición de bases intermedias, formados por toda clase de hidrocarburos: Saturados, no saturados (etilénicos y acetilénicos) y cíclicos (ciclónicos o nafténicos y bencénicos o aromáticos).

La mayoría de los yacimientos mundiales son de este tipo. A él corresponden casi todos los de Comodoro Rivadavia.

Poder Calorífico: Decrece al aumentar el peso específico.

Pe = 0,815 (Petróleo Salteño) ! 11.000 Kcal/L

Pe = 0,915 (Comodoro Rivadavia) ! 10.700 Kcal/L

Clasificación en base de su densidad.

La industria mundial de hidrocarburos líquidos clasifica el petróleo de acuerdo a su densidad (parámetro internacional del Instituto Americano del Petróleo, que diferencia las calidades del crudo).

Tabla #II.2

Petróleo Crudo	Densidad (g/ cm³)	Densidad grados API
Extrapesado	>1.0	10.0
Pesado	1.0 - 0.92	10.0 - 22.3
Mediano	0.92 - 0.87	22.3 - 31.1
Ligero	0.87 - 0.83	31.1 - 39
Superligero	< 0.83	> 39

II.8 Características del crudo utilizado.

Tabla #II.3

Parámetros	Características
Valor Calórico (kcal/kg)	10281,96
Densidad API	12,6
Gravedad Específica a 60 °C	0,9902
Agua % peso	0,6
Azufre % peso	2,47
Hidrógeno % peso	8,2
Carbono % peso	79,748
Res. Carbón Conradson % peso	10,65
Cenizas % peso	0,07
Viscosidad cst. a 50 °C	515,16
Densidad kg/m ³	998
Punto de Inflamación °C	104
Impurezas metálicas % peso	1,03

Conclusión del capítulo II.

A partir del resultado de los análisis químicos y caracterización del petróleo utilizado, es posible emplear el método de disolución de especies metálicas (las especies solubles en agua) y la separación de ambas fases por el método de beneficio densimétrico.

CAPITULO III. MATERIALES Y METODOLOGIA EXPERIMENTAL

III.1 Introducción

Los materiales y métodos empleados se describen a continuación: el diseño experimental aplicado en las etapas de beneficio, además de la metodología y procedimientos experimentales desarrollados.

Se establecen los parámetros que caracterizan el beneficio de petróleo crudo y se describen las metodologías para el estudio estadístico de dicho proceso.

III.2 Principales materiales de partida y equipos empleados.

III.2.1 Materiales de partida.

Para el desarrollo experimental se utiliza el petróleo crudo, proveniente del laboratorio de la Empresa Cubana “Comandante Ernesto Ché-Guevara”.

III.2.2 Equipos empleados.

- Balón de destilación,
- Beaker de 600 ml,
- Planchas eléctricas y
- Agitador mecánico.

III.3 Condiciones de trabajo

III.3.1 Cálculo de velocidad de agitación

Para analizar la influencia que ejerce la velocidad de agitación sobre el proceso, se consideran los valores máximo y mínimo de frecuencias, en la escala de mediciones, en revoluciones por minuto (r.p.m), que presenta el agitador mecánico.

El cálculo de los valores de velocidad de agitación se realiza por la metodología siguiente:

1. Se toman de la literatura (Perry. R y C. Chilton, 1985) los valores de viscosidad cinemática para el petróleo a las temperaturas de 50 a 70 °C.
2. Se toman los valores de frecuencia de agitación igual a 535 y 145 r.p.m.

3. Se calculan los valores de Reynolds (Re) según la expresión siguiente:

$$Re = \frac{\eta \cdot d^2}{\nu}$$

Donde: η : Número de revoluciones por minuto, (rpm);

d: Diámetro del impelente, 0,018 m.

ν : Viscosidad cinemática del petróleo, (m²/s).

III.4 Parte experimental

Para el desarrollo del trabajo experimental se utilizó el petróleo crudo descrito en el capítulo II, cuya composición química se refleja en el mismo. Se analiza una variante de tratamiento aplicada al petróleo crudo; para establecer las condiciones de trabajo se tienen en cuenta varias investigaciones precedentes realizadas por otros autores, los que se refieren en el capítulo I.

III.4.1 Diseño de Experimentos.

En la siguiente tabla, se muestran los niveles de estudio y la matriz experimental que se aplica en el trabajo.

Con el objetivo de analizar la influencia de la temperatura (T), el régimen de agitación (η) y el volumen de agua, sobre el proceso de mezclado, se aplica un diseño de experimentos factorial completo de tres factores a dos niveles, en el cual se fijan valores máximos y mínimos para las variables de entrada, se calculan un total de ocho experimentos a realizar. Como variables de salida se toman el tiempo de separación de fases y la composición química del agua.

III.4.2 Diseño factorial completo.

$$N=2^n \quad N=2^3=8 \quad (III.1)$$

Tabla #III.1

Niveles	T (°C)	Agitación η (rpm)	Agua ψ . ml
Mínimo (-)	50	145	300
Máximo (+)	70	535	450
Pruebas	T (°C)	Agitación η (rpm)	Agua ψ . ml
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

III.5 Metodología de análisis estadístico

Para demostrar la veracidad de los resultados alcanzados en la parte experimental y comprobar el comportamiento de los diferentes factores, se realiza un estudio estadístico - matemático, utilizando como herramienta Microsoft Excel, y además de esta manera se analizan las principales variables a tener en cuenta durante el proceso. Para determinar los modelos se ejecutan los siguientes pasos:

1- Control de homogeneidad de los valores (según filas)

a) Por cada una de las filas se toman los valores dudosos, por apreciación del investigador (y^*).

b) Determinación del valor promedio (sin tener en cuenta el error)

$$\bar{y}_1 = \frac{y_a + y_b + \dots + y_n}{n-1} \quad n: \# \text{ de repeticiones} \quad (\text{III.2})$$

c) Determinación de la desviación cuadrática (sin incluir el dudoso)

$$Dc = \sqrt{\frac{\left(\bar{y}_1 - y_a\right)^2 + \left(\bar{y}_1 - y_b\right)^2 + \dots + \left(\bar{y}_1 - y_n\right)^2}{n-1}} \quad (\text{III.3})$$

d) Cálculo del valor del criterio t student.

$$t_{calc} = \frac{y^* - \bar{y}_1}{Dc} \quad (\text{III.4})$$

e) Determinación de t_{tab} – grados de libertad $f = n - 1$, nivel de significación $\alpha=0,05$.

f) Comparación de los criterios $t_{calc}-t_{tab}$.

Si $t_{calc} < t_{tab}$, el valor se corresponde con los otros valores de la serie y participa en el resto de los cálculos. Si t_{calc} es mayor que t_{tab} , el valor no se corresponde con los otros valores de la serie y no participa en el resto de los cálculos (hay que eliminarlo del sistema).

El valor promedio de cada una de las filas estará en función del análisis anterior.

Si durante las pruebas realizadas no existen errores, se pasa directamente al punto 2.

2- Cálculo de la dispersión por fila y control de su homogeneidad.

a) Se determina la dispersión por cada una de las filas según:

$$S_1^2 = \left[\left(\bar{y}_1 - y_a\right)^2 + \left(\bar{y}_1 - y_b\right)^2 + \dots + \left(\bar{y}_1 - y_n\right)^2 \right] \cdot \frac{1}{n-1} \quad (\text{III.5})$$

b) Suma de las dispersiones.

$$\sum_{i=1}^N S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + \dots + S_N^2 \quad (\text{III.6})$$

N: # de experimentos.

c) Cálculo del criterio de Cochran (G) para cada fila.

$$G_{calc} = \frac{S_i^2}{\sum S_i^2} \quad (III.7)$$

Para 1 grado de libertad $f_1 = n - 1$; $f_2 = N$; $\alpha = 0,05$

Si $G_{calc} < G_{tab}$, la dispersión es homogénea de cada fila analizada con respecto a la población. De manera contraria la fila debe ser excluida, en tales casos generalmente se han producido errores en la experimentación.

3- Cálculo de la dispersión de reproducibilidad.

$$a) S_y^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N S_i^2 \quad (III.8)$$

b) Error de reproducibilidad.

$$S_y = \sqrt{S_y^2} \quad (III.9)$$

c) Cálculo del criterio t student

$$t_{calc} = \frac{S_y}{S_y^2} \quad (III.10)$$

d) Determinación t_{tab} ; $f = N (n-1)$; $\alpha = 0,05$.

e) Comprobación de los criterios $t_{calc} - t_{tab}$.

Si $t_{calc} < t_{tab}$. la diferencia entre los valores de la respuesta en diferentes puntos del plano está comprobada estadísticamente.

4-Cálculo del valor medio de respuesta y control del significado de su diferencia.

a) Valor del criterio de student

$$t_{calc} = \frac{\bar{y}_{max} - \bar{y}_{min}}{S_y \cdot \sqrt{\frac{1}{n_{max}} + \frac{1}{n_{min}}}} \quad (III.11)$$

b) Determinación de t_{tab} ; $f = n_{max} + n_{min}$.

c) Comprobación del criterio $t_{calc} - t_{tab}$

Si $t_{calc} > t_{tab}$, los valores medios de las respuestas están considerados dentro del campo muestral.

5-Determinación de los coeficientes de la ecuación de regresión.

$$b_0 = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 \cdots + \bar{y}_N}{N} \quad b_1 = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2 + \bar{y}_3 \cdots - \bar{y}_N}{N} \quad b_n = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 - \bar{y}_3 \cdots + \bar{y}_N}{N} \quad (III.12)$$

Este cálculo es realizando los cálculos tomando los signos verticales de la matriz de experimentación.

La ecuación de regresión es:

$$\xi = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \cdots + b_{12} X_1 X_2 + \cdots + b_N X_N \quad (III.13)$$

6-Control estadístico del significado de los coeficientes de la ecuación de regresión.

d) Error de la prueba.

$$S_p = \frac{S_y}{\sqrt{N \cdot n}} \quad (III.14)$$

b) Cálculo del criterio t student.

$$t_{calc} = \frac{|b_0|}{S_p}; \quad t_{calc} = \frac{|b_1|}{S_p}; \quad t_{calc} = \frac{|b_2|}{S_p} \quad (III.15)$$

c) Determinación t_{tab} ; $f = N (n-1)$; $\alpha = 0,05$.

d) Comprobación de los criterios $t_{calc} - t_{tab}$.

Si $t_{calc} < t_{tab}$, los coeficientes de la ecuación son significativos. (son incluidos en la expresión)

Si $t_{\text{calc}} > t_{\text{tab}}$, los coeficientes de la ecuación no son significativos. (no son incluidos en la expresión)

7.- Control de la adecuación de la ecuación de regresión.

a) Se realiza el cálculo para cada punto del plano.

$$\begin{aligned}\hat{y}_1 &= \pm b_0 \pm b_1 \pm b_2 + \dots \pm b_N \\ \hat{y}_2 &= \pm b_0 \pm b_1 \pm b_2 + \dots \pm b_N \\ \hat{y}_N &= \pm b_0 \pm b_1 \pm b_2 + \dots \pm b_N\end{aligned}\tag{III.16}$$

Este cálculo es realizado tomando los signos horizontales de la matriz de experimentación.

b) Dispersión de adecuación.

$$S_{\text{adec}}^2 = \frac{n}{N - n - 1} \left[\left(\bar{y}_1 - \hat{y}_1 \right)^2 + \left(\bar{y}_2 - \hat{y}_2 \right)^2 + \dots + \left(\bar{y}_n - \hat{y}_n \right)^2 \right]\tag{III.17}$$

c) Se calcula el criterio de Fisher.

$$F_{\text{calc}} = \frac{S_{\text{adec}}^2}{S_y^2}\tag{III.18}$$

d) Determinación F_{tab} : $f_1 = N - (n - 1)$; $f_2 = N (n - 1)$; $\alpha = 0,05$.

e) Comprobación del criterio $F_{\text{calc}} - F_{\text{tab}}$.

Si $F_{\text{calc}} < F_{\text{tab}}$; el modelo es adecuado al objeto investigado.

III.6 Descripción de la instalación experimental.

La instalación diseñada para el beneficio de este petróleo esta compuesta por agitador, dos planchas para el calentamiento del combustible y para la producción del vapor del agua, un beaker de 600 ml hará la función de recipiente mezclador.

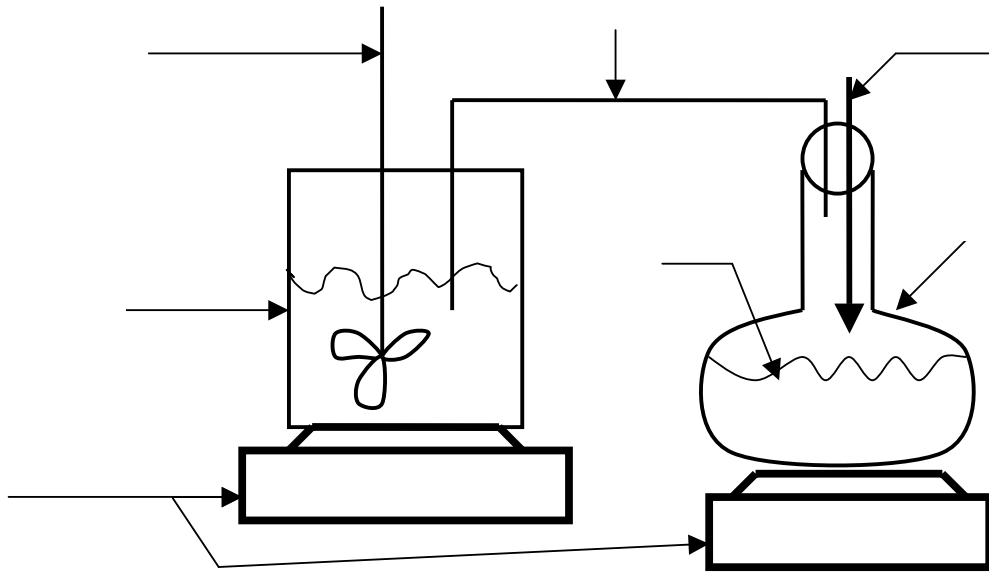


Figura III.1 Instalación experimental para el tratamiento del petróleo crudo.

III.7 Procedimiento Experimental

El tratamiento experimental aplicado al petróleo crudo, que constituye un aporte del trabajo se seleccionó a partir de investigaciones anteriores, el mismo consta de cuatro etapas fundamentales:

Etapas 1. Preparación de la instalación y los materiales de trabajo.

Etapas 2. Proporcionalización de ambos líquidos, de acuerdo con el diseño factorial completo.

Etapas 3. Preparación de balón de destilación para la producción del vapor.

Etapa 4. Calentamiento de la mezcla hasta la temperatura de trabajo.

Etapa 5. Preparación de la emulsión durante el tiempo de diseño.

Etapa 6. Separación de fases por reposo.

III.8 Técnicas de análisis químicos.

Asfáltenos

Asfalteno es una fracción de hidrocarburos de alto peso molecular precipitado del petróleo. La determinación de la cantidad de asfáltenos se realiza mediante la extracción por solvente (en este caso la extracción Soxhlet). La extracción Soxhlet es una de las técnicas analíticas más difundidas. El extractor Soxhlet ha sido modificado en distintos aspectos, en algunos casos tratando de aumentar la temperatura del solvente que entra en contacto con la mezcla a extraer, con el fin de reducir el tiempo de extracción. Las modificaciones introducidas por el químico americano Edward L.Randall, se encuentran entre las más eficaces a este propósito.

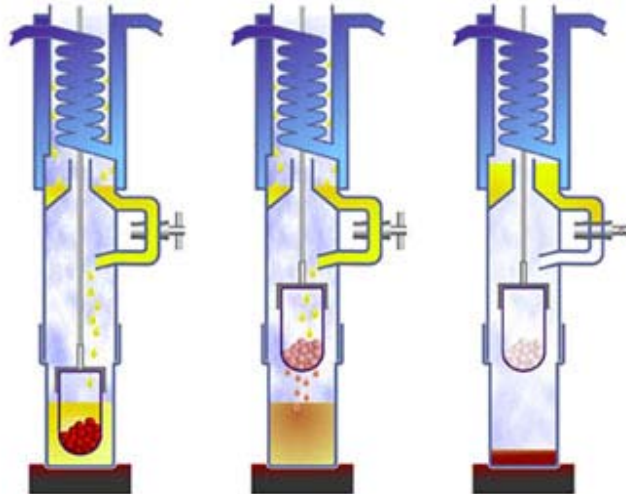
El sistema Soxhlet

La solubilización de los componentes extraíbles se efectúa a través del solvente frío que cae desde el refrigerante. En consecuencia, una extracción completa necesita varias horas.



El sistema Randall

La primera parte de la extracción se efectúa mediante la inmersión de la muestra en el solvente en ebullición, al cual sigue un enjuague con solvente frío. La rápida solubilización realizada por el solvente caliente permite reducir notablemente los tiempos de extracción.



Cenizas

Para la determinación del contenido de cenizas se usa una cápsula de platino o vidrio boro silicato y un mechero. Se toma un volumen determinado de residuo y se procede a la quema del mismo dentro de la cápsula, una vez realizado esto se extraen las cenizas restantes y se mide su volumen para luego hallar el porcentaje de la misma según la relación del volumen de esta con el volumen de residuo.

Densidad

La densidad no es más que la razón masa/volumen medida a 15°C y la unidad de medida es Kg. /m³. Por lo tanto la determinación de la densidad se realiza pesando un volumen determinado de residuo y expresando el resultado en (medida de peso)/(medida de volumen).

Punto de inflamación ("Flash Point")

Es la menor temperatura a la cual el producto se vaporiza en cantidad suficiente para formar con el aire una mezcla capaz de inflamarse momentáneamente cuando se le acerca una llama.

Viscosidad absoluta

Se define como una medida de la resistencia de una sustancia al fluir, o como la fuerza por unidad de área requerida para mantener el fluido a una velocidad constante en un espacio considerado.

III.9 Conclusión del capítulo III.

Mediante la utilización de la metodología diseñada se podrá investigar y estudiar la influencia de la temperatura, agitación y volumen de agua involucrado en el proceso, así como la metodología de análisis estadístico por regresión para determinar la significación de las variables y adecuación del modelo estadístico matemático.

CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS

IV.1 Introducción

En el capítulo III, se describen los procedimientos aplicados para el tratamiento del petróleo crudo, en este capítulo se realiza un análisis de los principales resultados alcanzados en el proceso de beneficio densimétrico.

IV.2 Estabilidad de la mezcla, en las diferentes condiciones de trabajo.

En este proceso de mezclado, el objetivo que se persigue no es precisamente determinar la estabilidad de la mezcla debido a que con este método se desea la separación rápida de la emulsión, para determinar el tiempo de retención que posteriormente debe tener la emulsión en la separación de fases.

Realizado un análisis sobre la estabilidad de la mezcla se puede plantear que las pruebas llevadas a cabo en condiciones directas de proceso (mezclado a partir de condiciones ambientales), se mostraron con una alta estabilidad de la emulsión, ya que hubo una separación total de las fases a los cinco días de reposo, en la grafica # IV.1 se muestra la cinética del proceso de separación de fases.

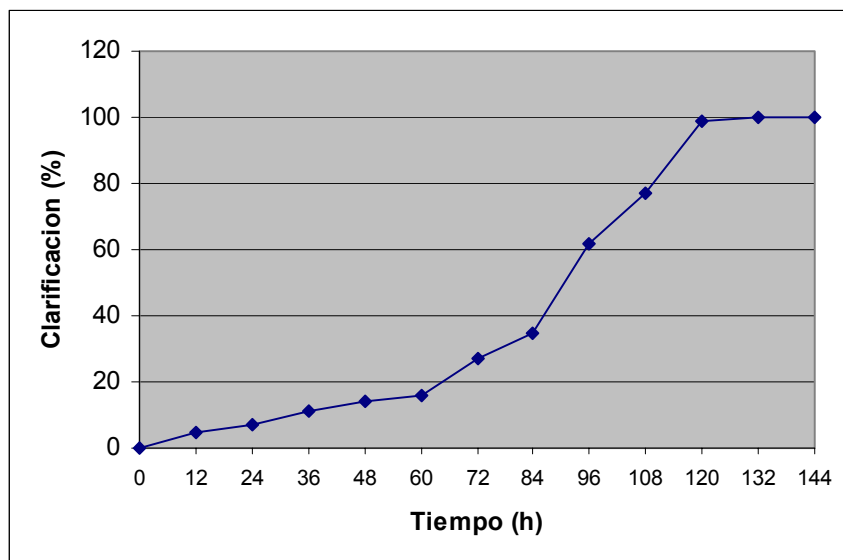


Fig. IV.1: Comportamiento de la estabilidad de la emulsión sin precalentamiento.

Como se muestra en la figura, en los tres primeros días de separación existe una estabilidad de la emulsión, donde se separa solo el 16 % del agua contenida en la mezcla, y a partir del cuarto y quinto días ocurre la separación del 84 % del agua, perdiendo las propiedades como emulsión (inestabilidad de la mezcla).

En cambio, las pruebas realizadas con calentamiento previo al proceso de mezclado, se comportaron con muy baja estabilidad, lográndose una rápida separación de fases, como se muestra en la figura #IV.2.

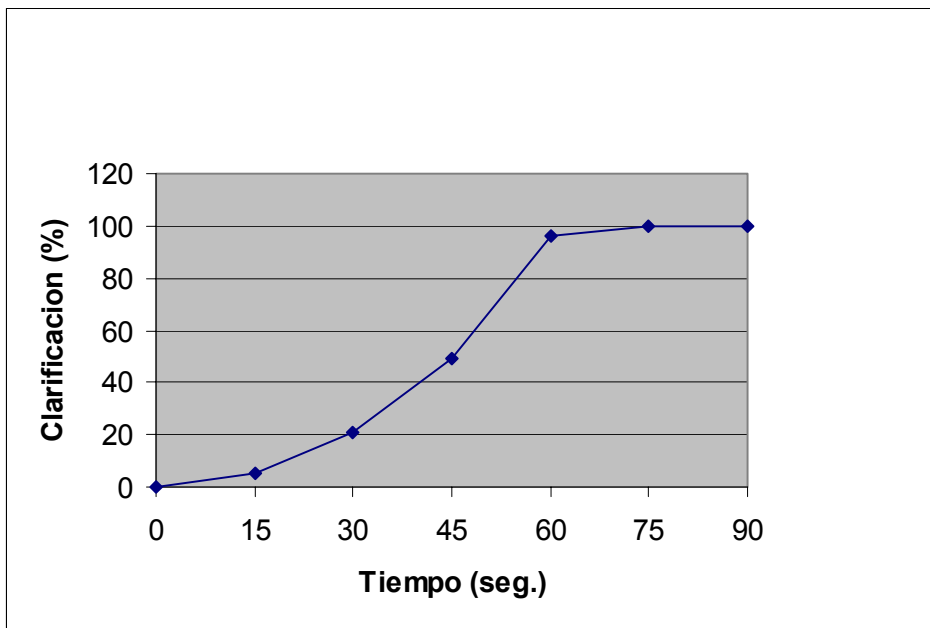


Fig. IV.2: Comportamiento de la estabilidad de la emulsión con precalentamiento.

Como se muestra en la figura, en las últimas pruebas, de acuerdo a las condiciones de trabajo, no existe una estabilidad de la emulsión, donde se aprecia la separación del agua contenida en la mezcla después de los 15 segundos que representa un 5 %, y a partir de los 60 segundos ocurre la separación del 96 % del agua, perdiendo las propiedades como emulsión (inestabilidad de la mezcla).

IV.3 Composición del licor residual.

Debido a los análisis realizados, llegaron a definir que el agua cambió su característica física-química y se apreciaron impurezas presentes en la misma, por falta de equipamiento, no llegaron a determinar esas especies, como se muestra los % de la extracción por cada prueba en la tabla IV.1.

IV. Análisis estadístico - matemático.

IV.4.1 Modelación estadística-matemático.

La modelación estadística constituye una de las herramientas principales para determinar la influencia de los factores en un proceso así como la correlación que existe entre ellos, así como la verdad más cercana al proceso.

4- Control de homogeneidad de los valores (según filas)

Según los resultados experimentales se consideran que no hay resultados errados, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla #IV.1

Pruebas	Y1	Y2	Y3	Ym
1	27,4	27,8	27,5	27,57
2	25,1	25,4	25,4	25,3
3	24,9	24,1	24,5	24,5
4	26,3	25,9	25,7	25,97
5	27,1	26,8	26,6	26,83
6	24,8	25	24,9	24,9
7	25	25,3	25,1	25,13
8	24,7	25	24,7	24,8

Y- extracción de las especies metálicas.

5- Cálculo de la dispersión por fila y control de su homogeneidad.

a) Dispersión por filas:

Tabla #IV.2

Dispersión por filas	Cochran para cada fila
759,96	0,14
640,12	0,12
600,41	0,11
674,36	0,12

720,09	0,13
620,02	0,11
631,70	0,12
615,07	0,11

Tabla #IV.3

Suma de	Cochran
Dispersiones	tabulado
5261,74	0,6798

Como, $G_{\text{calc}} < G_{\text{tab}}$, la dispersión es homogénea de cada fila analizada con respecto a la población.

Dispersión de reproducibilidad, es igual a 657,718056.

Error de reproducibilidad. $S_{(bj)} = 25,64$

Criterio t student $t_{\text{Cal}(bi)} = 0,038992414$ 1,746

Como, $t_{\text{calc}} < t_{\text{tab}}$. la diferencia entre los valores de la respuesta en diferentes puntos del plano está comprobada estadísticamente.

Coefficientes de la ecuación de regresión.

Tabla #IV.4

b0	b1	b2	b3	b12	b13	b23	b123
25,625	0,3833	0,525	0,2083	0,6667	-0,183	0,075	0,2667

La ecuación de regresión es:

$$\xi = 25,625 + 0,3833T + 0,525\eta + 0,208\psi + 0,6667T\eta - 0,183T\psi + 0,075\eta\psi + 0,2667T\eta\psi$$

Significado de los coeficientes de la ecuación de regresión.

T- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

η - Agitación (rpm)

ψ - Volumen de agua (ml)

Error de la prueba. $S_p = 5,235$

Criterio t student calculado.

Tabla #IV.5

tb0	tb1	tb2	tb3	tb4	tb5	tb6	tb7
4,895	0,0732	0,1003	0,0398	0,1273	-0,035	0,0143	0,0509

La t tabulada es a 1,746

Todos los $t_{calc} < t_{tab}$, por lo que los coeficientes de la ecuación son significativos y son incluidos en la expresión.

Control de la adecuación de la ecuación de regresión.

Tabla #IV.6

y1	27,5667
y2	25,3000
y3	24,5000
y4	25,9667
y5	26,8333
y6	24,9000
y7	25,1333
y8	24,8000

Dispersión de adecuación. $S_{adec}^2 = 0$

Criterio de Fisher calculado.

$$F_{calc} = 0$$

Criterio de Fisher tabulado.

$$F_{calc} = 3,01$$

$F_{calc} < F_{tab}$; el modelo es adecuado al objeto investigado.

Por lo que hay una correlación directa entre las variables de salida con las variables de entrada. Por lo que $R \Rightarrow 1$.

Como se estuvo en el modelo matemático estadístico, el orden de significación de las variables y sus interacciones es como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla #IV.7

Variables	Significación
Agitación y temperatura	1
Agitación	2
Temperatura	3
Agitación, temperatura y volumen de agua	4
Volumen de agua	5
Agitación y volumen de agua	6
Temperatura y volumen de agua	7

Es decir los principales parámetros que intervienen en el proceso de separación de especies metálicas son la temperatura, la agitación y la interacción entre estos. Teniendo en cuenta los resultados, el modelo estadístico matemático este reproduce fielmente los resultados de la investigación, por lo que puede ser empleado en la reproducción en pruebas experimentales en el rango de valores de las variables estudiadas.

IV.5 Propuesta de un prediseño de una Instalación de banco (más de 25 L de volumen de mezcla)

La planta de beneficio de petróleo crudo está compuesta de un proporcionalizador (1), un emulsionador (2), un enfriador (3) y un separador de fases (4), con el objetivo de separar la mayor cantidad de metales disueltos en el crudo. El primero no es más que un tanque de acero dividido en dos departamentos cuyas paredes tienen un espesor de 0.01 m, este almacena en una división agua y en la otra petróleo, cada uno por separado, ver fig. . El recipiente de agua, presenta la tubería de llenado con su válvula, la tubería de vaciado con su válvula de regulación al emulsionador. El recipiente de petróleo presenta tubería de llenado con su válvula, tubería de vaciado con su válvula de regulación al emulsionador.

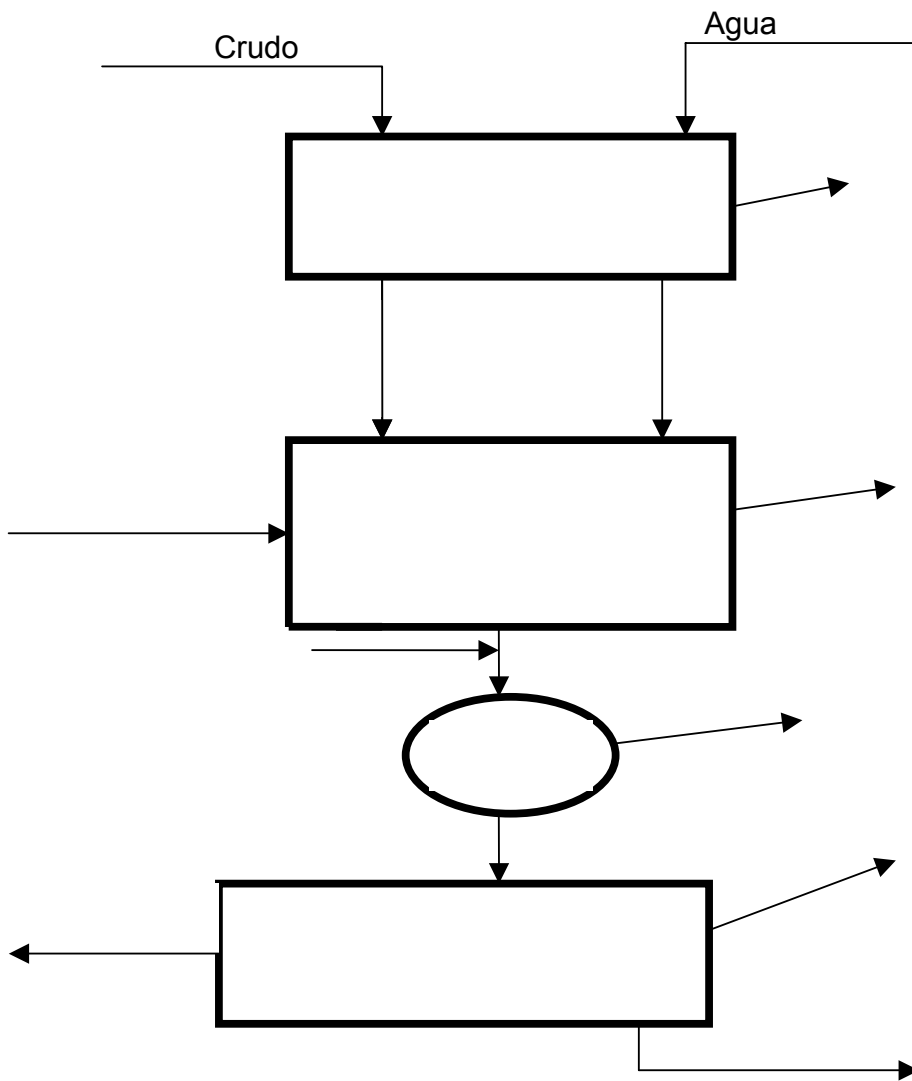


Fig. IV.3 Esquema propuesto de la instalación de experimentación.

➤ **Proporcionalizador crudo-agua.**

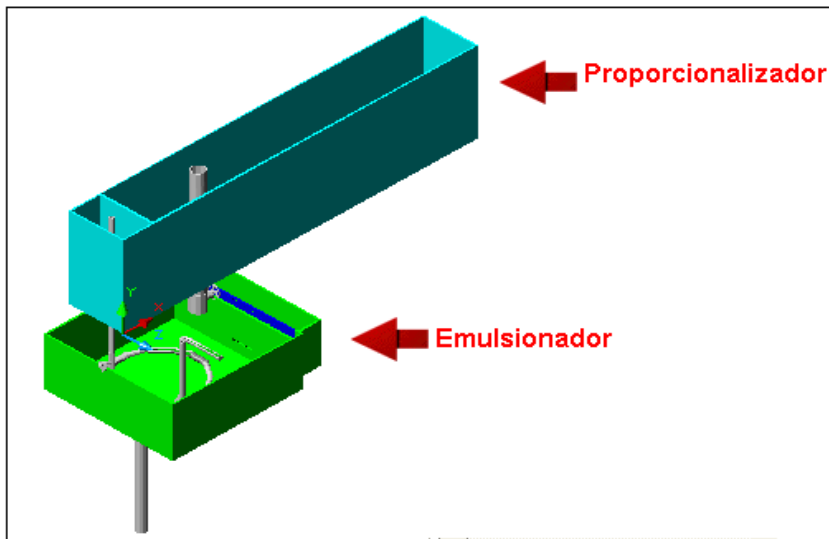


Fig. IV.4 Proporcionalizador

Como se muestra en la figura, el proporcionalizador crudo - agua consiste en proporcionar ambos fluidos en un mismo intervalo de tiempo para obtener una emulsión dada con las condiciones ideales de trabajo.

➤ **Vertedero con orificios**

El vertedero con orificio para obtener una característica creciente y predeterminada entre la altura H de la superficie del líquido y el correspondiente gasto volumétrico de salida Q_s en un recipiente con descarga libre, es en esencia un tubo con orificio distribuido longitudinalmente como se muestra en las figuras siguientes

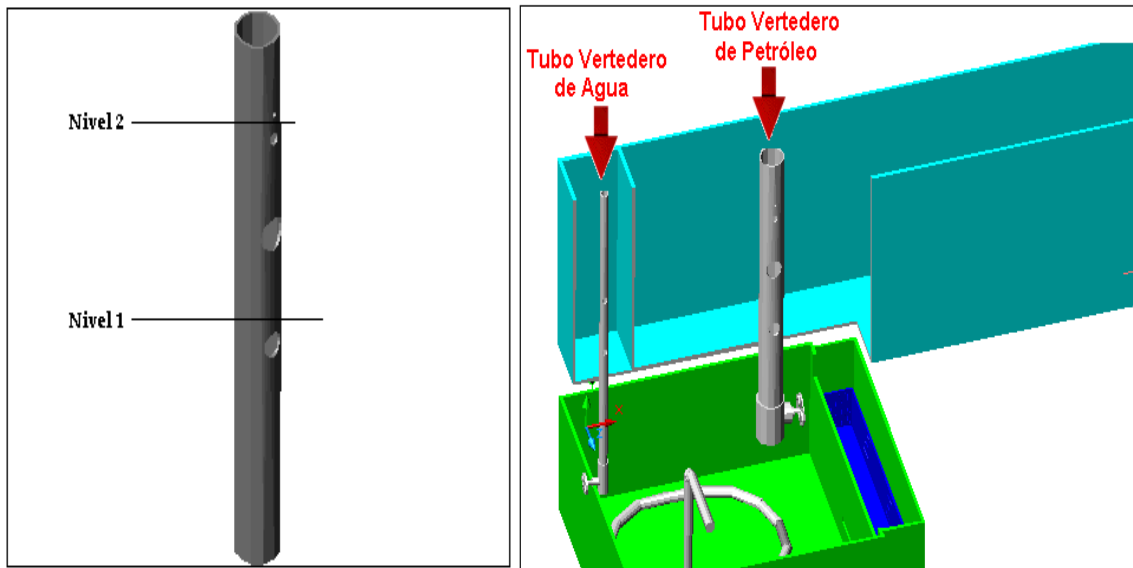


Fig. IV.5

Las características más generales de este vertedero con orificio para obtener una característica específica de H contra Q_s en un recipiente con descarga libre de un líquido son:

- 1) Se conecta la salida del recipiente en posición no horizontal.
- 2) El vertedero es un componente estático, es decir, trabaja sin movimiento mecánico alguno.
- 3) Utiliza la propia energía del proceso para variar la resistencia hidráulica de salida.
- 4) La presión en la superficie libre del líquido es igual a la presión interna del cuerpo del vertedero.
- 5) No debe trabajar con líquidos incrustantes, porque se altera el área de los orificios.

➤ **Enfriador**

El enfriador consiste en disminuir la temperatura de la emulsión por intercambio térmico indirecto, antes de entrar en el tanque de separación. Con el objetivo de poder facilitar el proceso ulterior de separación.

➤ **Tanque separador de fases**

El tanque separador es un recipiente en la cual nos permite separar las fases del petróleo emulsionado por diferencia de densidades, ya que el agua posee una mayor densidad que el petróleo. Es un proceso continuo y la separación se hace por rebozo, es decir, el recipiente trabaja como un sedimentador de licor en las empresas, pero aquí es sin agitación del fuel emulsado. Entonces por el canal superior, va saliendo el fuel limpio y por el canal inferior va saliendo el agua mas unos pocos de sólidos que en el tanque anterior no se pudo separar.

➤ **Características técnicas de la instalación.**

Las dimensiones de estas divisiones son:

Tabla # IV.8

<u>División de agua:</u>		<u>División de petróleo:</u>	
Largo:	0.19 m	Largo:	2.10 m
Ancho:	0.32 m	Ancho:	0.32 m
Alto:	0.50 m	Alto:	0.50 m

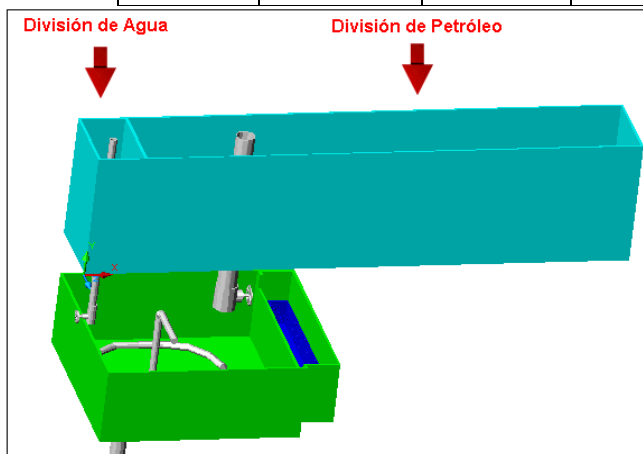


Figura : Divisiones de agua y petróleo del emulsionador.

Como se puede ver en la figura, la cantidad de petróleo que se puede almacenar en este tanque es de 11,05 veces la cantidad de agua que se puede almacenar en el mismo. Este valor le da entonces la proporción de agua-combustible que queremos obtener con el proporcionalizador. Cada división en su centro presenta un tubo perforado y colocado verticalmente cuya salida se une al fondo de la división del tanque con otro tubo que sobresale de la parte de posterior y presenta una válvula de mariposa. Estos tubos perforados, son los llamados

vertederos con orificios, ya que según el diámetro de los tubos, el diámetro y la altura a la cual se encuentren los orificios se obtendrá una característica de gasto de salida por el tubo del fondo en función de la altura del líquido que se encuentre en la división. El diámetro de los tubos son:

Tabla # IV.9

<u>Tubo de agua:</u>		<u>Tubo de petróleo:</u>	
Diámetro exterior:	27 mm	Diámetro exterior:	76 mm
Diámetro interior:	20 mm	Diámetro interior:	68 mm

Tabla # IV.10

Nº de orificio	Diámetro (mm)	Distancia del fondo del orificio (mm)
1	14,5	70
2	16	210
Nº de orificio	Diámetro (mm)	Distancia del fondo al orificio (mm)
1	35	70
2	47	210
3	18	350
4	7	385

Fig. IV.6 : Tubo de Vapor.

Durante la aplicación del vapor al tanque de emulsionado, los sólidos contenidos en el petróleo flotan y van a depositarse en una división agregada al tanque de emulsionado, en la primera figura IV.7. Una vez que la emulsión se estabiliza se abre la llave del tubo del emulsionado para suministrar el mismo a la caldera, en la figura IV.8.

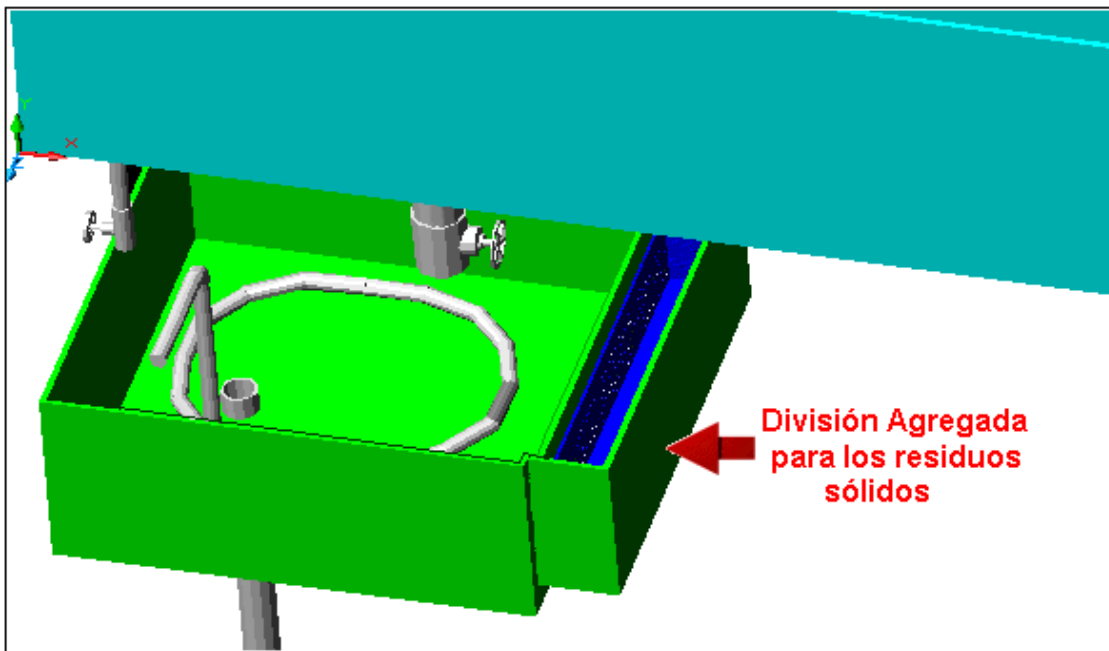


Fig. IV.7 : División agregada para los residuos sólidos.

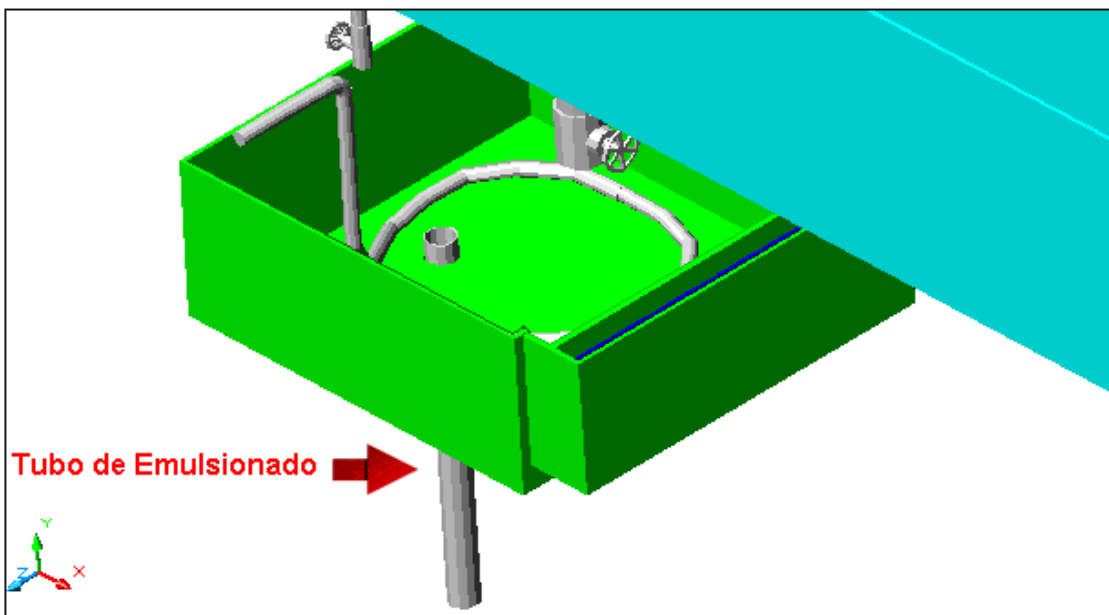


Fig.IV.8: Tubo de la mezcla.

Cuando el nivel del petróleo emulsionado está por debajo del nivel de la división para los residuos sólidos entonces el petróleo que se depositó en la división agregada se cuela por un recipiente agujereado que se encuentra dentro de dicha división, figura, lo cual posibilita la separación de los sólidos del petróleo, y luego

este petróleo regresa al tanque de emulsionado por una abertura en la pared que divide al emulsionador de la división para la separación de los sólidos, figura.

Las dimensiones del interior del tanque de emulsionado y la división agregada son:

Tabla # IV.11

Tanque de emulsionado:		División agregada	
Largo:	0.75 m	Largo:	0.12 m
Ancho:	0.745 m	Ancho:	0.71 m
Alto:	0.48 m	Alto:	0.23 m

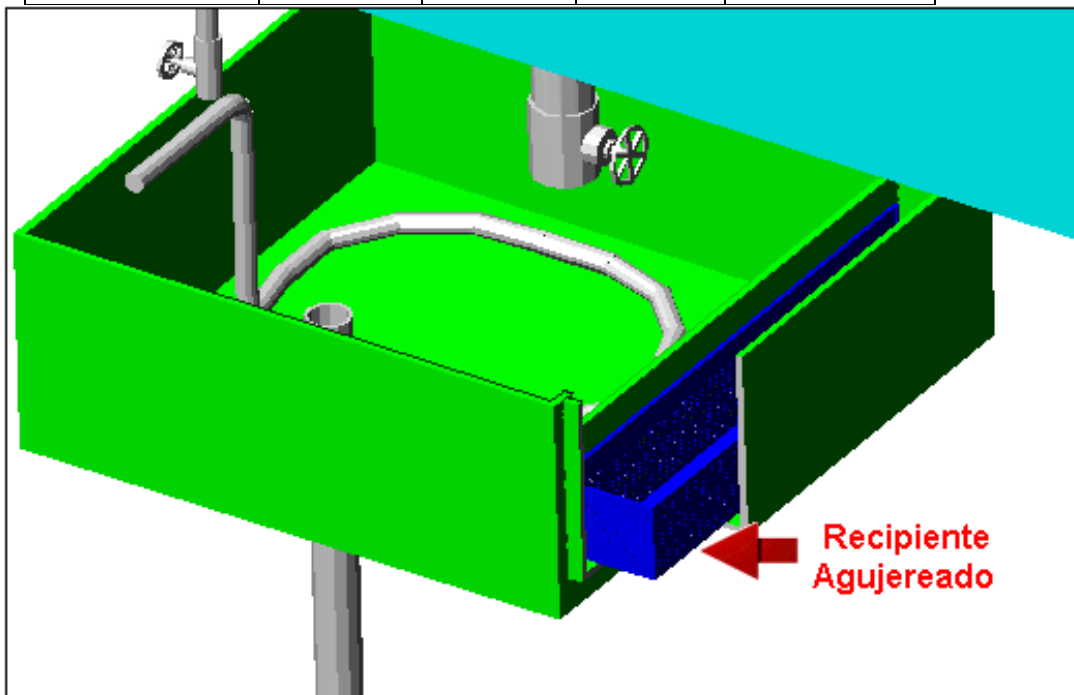


Fig.IV.9 : Recipiente agujereado.

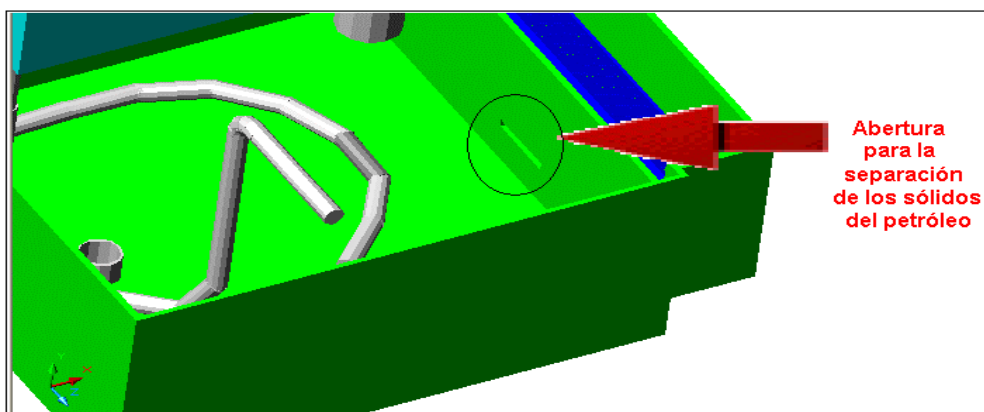


Fig.IV.10 : Abertura para la separación de los sólidos.

IV.6 Valoración económica y ecológica.

IV.6.1 Costo de la Instalación

El costo de la instalación esta dado por la suma del costo del material sin contar las horas hombre, estos datos fueron tomados en laboratorio de metalurgia general del ISMM.

Tabla # IV.12

Instalación	Cantidad	Costo unitario cuc	Costo Material
Agitador mecánico	1 u	194,58	194,58
Planchas	2 u	391,21	782,42
Balon de destilación	1 u	6,01	6,01
Beaker	15 u	6,00	90,00
Termómetros	2 u	10,00	20,00
tuberia de vapor ($\Phi=5\text{mm}$).	0,5m	0.41	0.205
llave del agitador	1 u	4.2	4.2
Total			1093,01 cuc

IV.6.2 Impactos ambientales.

De forma general, en refinación del petróleo se lleva a cabo procesos de distinta índole. Algunos de estos procesos conllevan la emisión a la atmósfera de gases, partículas y compuestos orgánicos volátiles. En el laboratorio de Metalurgia General se realizaron los experimentos de la investigación, es una zona con amplio flujo de estudiantes-investigadores, además está alejada del resto de los laboratorios del área.

En la realización de las pruebas experimentales, la emisión de gases hacia el medio es poco perceptible.

Este proceso, se puede considerar un proceso limpio, porque sus residuos son las materias primas para otras empresas. Por lo que no produce ningún daño al medio.

IV.7 Conclusiones del capítulo IV.

- En el proceso de mezclado petróleo-agua no se ha podido reducir la cantidad de todas las especies metálicas contenido en el petróleo crudo debido a que pueden existir compuestos de especies metálicas no solubles en agua.
- Se logró una buena extracción de las especies metálicas con un máximo promedio de 27,57% bajo las condiciones de la primera prueba.
- El modelo estadístico – matemático valida la confiabilidad de los resultados experimentados, y se muestra que las variables independientes de mayor influencia en el proceso, son la temperatura y la agitación.

CONCLUSIONES.

1. Se benefició el petróleo crudo a través del método densimétrico obteniéndose, mediante el método factorial completo una extracción de

27,57 % en los ensayos realizados.

❖ Se obtuvo un modelo estadístico-matemático

$$\xi = 25,625 + 0,383T + 0,525\eta + 0,208\psi + \\ + 0,6667T\eta - 0,183T\psi + 0,075\eta\psi + 0,2667T\eta\psi$$

❖ Debido al modelo estadístico-matemático, se pudo determinar los principales factores que influyen en el proceso de beneficio que son: agitación y temperatura, en orden decreciente

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio con mayor amplitud de las características del petróleo crudo que permita a los investigadores conocer con exactitud la composición y forma en que se encuentran las especies metálicas, para determinar los reactivos de disolución.

- Para realizar los análisis químicos con una buena exactitud de los resultados, se propone el proceso de vaporización del agua del licor.

- Considerar en futuras investigaciones, la posibilidad de realizar el estudio a escala de banco (según diseño propuesto).

BIBLIOGRAFIA.

1. Aide, R.; Luis, M. H. *Tablas y resúmenes estadísticos*. Edición pueblo y educación, 1986. Páginas 150.
2. Amaury, P. R. *Programa de estadístico para validación de resultado*. 2000.
3. Giral, F. *Química orgánica superior*. Edición Grijalbo, 1966. Páginas 989.
4. Gusmaiker R., C. *Beneficio del Crudo Cubano 2005*, páginas 72.
5. Moring, F.; A., VIRGIL. *Termodinámica*. Edición revolucionaria, 1986.
6. Perrys, I.H. *Chemical Engineers Handbook*. La Habana. Editorial Revolución, 1967, 13-15 pág.
7. Petróleo y gas buscan su necesario lugar en el desarrollo de la economía cubana, julio 1999, páginas 42 – 47.
8. CUBAPETROLEO. *Historia del Gas Manufacturado en La Habana*, 1992.
9. ROMO, L., PhD. *Formulación de emulsiones de petróleos pesados en agua*. Petroecuador-ESPE, convenio 96058, 1998.
10. Víctor, C. C. *Control de una Planta de Beneficio de Crudo Cubano 2005*, páginas 130.
11. Internet,
<http://www.monografias.com/trabajos5/petroleo/petroleo.shtml>,
petróleo y sus procesos de refinación, [20070324].

12. Internet, <http://members.tripod.com/fotografía/textos/equipos.htm>,
Equipos para la emulsificación y ensayos de emulsiones,
[20070324].
13. Internet, http://petroecuador.com.ec/uidt/docs/for_emul.pdf,
Formación de Emulsiones, [20070324].
14. Internet, http://www.inlab.com.ar/Bacterias_Petrotecnica.pdf,
Beneficio del petróleo, [20070324].
15. Internet, <http://www.monografias.com/trabajos16/derivados-petroleo>, *El
petróleo y sus derivados*, [20070324].

Revistas

- a. Morales, I. *Historia de la Industria Petrolera en Cuba*, 2000.
- b. Juan, P. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG), *Origen y Composición del Petróleo*, 2001.