

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO,
GAS NATURAL Y PETROQUIMICA**



**“TRATAMIENTO FISICO QUIMICO DE
RESIDUOS OLEOSOS”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE PETROLEO

ELABORADO POR:

CLEVER WALTER VALDEZ IRIARTE
PROMOCION 2008-I

LIMA – PERÚ

2011

SUMARIO

El desarrollo de esta tesis es brindar un aporte a un concepto que un día escuche en clases: "Desarrollo Sostenible: Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades."; somos parte de una industria que produce energía y progreso a los pueblos, pero a veces causa grandes estragos; también se podría decir que el desarrollo económico en base a recursos naturales decae cuando vemos que hacemos con nuestro medio ambiente. Las actividades de la industria petrolera, están causando pasivos ambientales que muchas veces no son visibles por sus pequeñas dimensiones, pero las consecuencias que traen son inmensas. La generación de pasivos ambientales es un problema del cual tarde o temprano vamos sufrir consecuencias. Y para esto ¿qué es un pasivo ambiental? dirán, bueno un pasivo ambiental podría definirse como aquella situación ambiental que, generada por el hombre en el pasado y con deterioro progresivo en el tiempo, representa actualmente un riesgo al ambiente y la calidad de vida de las personas. Un pasivo ambiental puede afectar la calidad del agua, el suelo, el aire, y los ecosistemas deteriorándolos. Estos han sido generalmente producidos por las actividades del hombre, ya sea por desconocimiento, negligencia, o por accidentes, a lo largo de su historia. Los pasivos ambientales son complejos y complicados para su recuperación, debido a las características físico químicas, los elevados costos para su control y rehabilitación, la falta de identificación de responsables y en otros casos por el incipiente desarrollo tecnológico para su recuperación.

Los residuos oleosos son una mezcla homogénea de petróleo, agua y sólidos, los cuales forman una emulsión altamente estable, que no es fácil de romper mediante métodos convencionales y que es necesario separar en sus componentes elementales para su posterior aprovechamiento.

En la industria de los hidrocarburos, se está generando un pasivo, que no se encuentra normado completamente. Residuos Oleosos: borra, "Slop Oil", y tierra empetrolada.

Si bien existen reglamentos, estos no tienen especificado el tipo de contaminante que vamos a tratar en esta tesis; por lo cual muchas empresas no destinan o enfocan muchos fondos al tratamiento de estos residuos, pero lo que si están conscientes es que es un contaminante.

El Gobierno del Perú últimamente formó el Ministerio del Ambiente, el cual tiene poco tiempo en funcionamiento (desde el 2008), este vendría a sustituir al CONAM (Consejo Nacional del Ambiente), pero con mayor participación y poder, por lo que se espera a futuro que empiece a emitir decretos supremos, con carácter menos benevolente hacia las empresas que incurran en estas actividades contaminantes.

Si bien queremos formar empresas solventes, debemos formarlas desarrollándola con responsabilidad social y ambiental, en la cual demostramos que podemos obtener energía aplicando una tecnología limpia y remediadora, y a la vez canalizar nuestros conocimientos a dar solución a lo ya contaminado por nosotros.

Nuestra sociedad debe estar consciente que si seguimos así, contaminando, llegara el momento que nuestros hijos no tendrán un pasto verde donde correr, un mar limpio donde jugar, cielo celeste que ver, etc. Es tiempo que cambien las cosas, si el desarrollo industrial puedo avanzar tan rápido, también hagamos que nuestro desarrollo en tecnologías limpias y remediadoras avance de forma que podamos dar solución a nuestras necesidades, revertir nuestro impacto en la tierra y preparar un mundo para generaciones futuras, y con esto cumplir con el concepto que di al comienzo de esta lectura, un "DESARROLLO SOSTENIBLE".

INDICE

1. OBJETIVO
2. ALCANCE
 - 2.1. ¿QUE ESTA OCURRIENDO EN LA INDUSTRIA?
 - 2.2. ¿QUE OCURRIRA SI NO SE EVITA EN EL FUTURO Y NO SE REMEDIA LO ACTUALMENTE CONTAMINADO?
 - 2.3. ¿QUE SE HA HECHO A RESPECTO EN EL MUNDO Y EN EL PERU?
3. DEFINICIONES
4. RESPONSABILIDADES
5. DESCRIPCION DEL PROCESO
 - 5.1. CARACTERIZACION DEL MATERIAL A TRATAR
 - 5.2. DISEÑO Y SELECCIÓN DEL ROMPEDOR A UTILIZAR
 - 5.3. EXTRACCIÓN DEL DESECHO ACEITOSO DESDE LAS PISCINAS DE ALMACENAMIENTO O TANQUES
 - 5.4. TRATAMIENTO TERMICO
 - 5.5. PRIMERA ETAPA DE SEPARACION
 - 5.6. SEGUNDA ETAPA DE SEPARACION
 - 5.7. PROCESO DE DESALINIZACION
 - 5.8. PROCESO DE TRATAMIENTO DE CLARIFICACIÓN DE AGUA
 - 5.9. PROCESO DE TRATAMIENTO DE SÓLIDOS
6. ASPECTOS DE SEGURIDAD SALUD Y MEDIO AMBIENTE
7. GESTION DE REGISTROS
8. ASPECTOS ECONOMICOS
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
10. BIBLIOGRAFIA
11. ANEXOS

CAPITULO I

I-1 ANTECEDENTES

Actualmente a nivel mundial la industria está generando residuos contaminantes a partir de sus actividades en la búsqueda, producción, transporte y procesamiento del petróleo.

La generación de estos residuos proviene de diferentes fuentes, pueden ser de los fondos de los tanques de almacenamiento en una refinería, en baterías de producción o de un buque carguero. De ciertos derrames por diferentes operaciones, cambio de tubería u operaciones en la etapa de perforación, producción, servicio de pozos y/o transporte, etc.

Estos residuos son una mezcla de hidrocarburos, sólidos y agua, que normalmente se presenta como una emulsión difícil de separar. En el mejor de los casos, mediante la decantación estática se necesitaría miles de horas y costosos tratamientos químicos a su vez contaminantes para que la emulsión se separe en sus componentes, pero no en una separación notable sino hasta cierto nivel en el que se encontrará fases de transición, aun así cada una de las fases separadas tendrían trazas de las otras.

I-2 JUSTIFICACION

El presente trabajo de tesis es una investigación realizada acerca de una nueva tecnología aún no aplicada en Perú, desarrollada para el manejo, tratamiento y adecuación de residuos oleosos, generados en las operaciones de exploración, perforación, producción, refinación y toda operación generadora de residuos oleosos contaminadores, (borras, "slop oil", y/o tierras "empetroladas"); obteniéndose como resultado la mitigación estos pasivos ambientales y a su

vez dándole al agua y a los sólidos (sedimentos) una especificación adecuada para un posterior tratamiento y reutilización.

Debido a que todo proyecto dentro de la industria de los hidrocarburos genera en menor o mayor grado residuos contaminantes que a su vez contienen hidrocarburos en mayor o menor proporción y que hasta la fecha no se haya logrado darle solución económica definitiva, recuperando los hidrocarburos presentes y eliminando toda posibilidad de contaminación y reutilizando los materiales resultantes (agua, tierra, partículas minerales, etc.) después del proceso, previo tratamiento adecuado

Esta investigación se justificó plenamente con los resultados económicos favorables logrados en las primeras simulaciones y posteriores pruebas.

I.-3 MARCO LEGAL

Las responsabilidades legales están definidas por la normativa actual al respecto, la generación y disposición de residuos (“slop oil”, borra y tierra “empetrolada”) transgreden la siguiente normatividad vigente:

- **Decreto Legislativo N° 613 (08-09-90); Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales**

“Artículo 14º.- Es prohibida la descarga de sustancias contaminantes que provoquen degradación de los ecosistemas o alteren la calidad del ambiente, sin adoptarse las precauciones para la depuración. La autoridad competente se encargará de aplicar las medidas de control y muestreo para velar por el cumplimiento de esta disposición.”

“Artículo 73º.- Los aprovechamientos energéticos, su infraestructura, así como el transporte, transformación, distribución, almacenamiento y utilización final de la energía, deben ser realizados sin ocasionar contaminación del suelo, agua o

aire. Debe emplearse las mejores tecnologías para impedir que los daños ambientales sean irreparables.”

“Artículo 76º.- Los trabajos de exploración y extracción petrolífera, así como aquellos de recuperación secundaria de yacimientos de hidrocarburos o gases naturales, deben ser cumplidas las condiciones y requisitos establecidos por la autoridad competente, con la finalidad de que los procesos de producción y transporte así como las aguas y otras sustancias utilizadas no originen riesgos o perjuicios ambientales.”

“Artículo 77º.- Durante la extracción y manipuleo de los fluidos de un yacimiento petrolífero se debe adoptar, bajo responsabilidad, el uso de técnicas y de los medios necesarios para evitar la pérdida o daño de recursos naturales. En todos los casos, las empresas deben contar con el equipo adecuado para detectar y evaluar los agentes ambientales nocivos que puedan presentarse.”

- **LEY ORGANICA DE LOS HIDROCARBUROS N° 26221 (26-08-93):**

Decreto Supremo N° 032-2004-EM, Reglamento de las Actividades de Exploración y Explotación de Hidrocarburos

“Artículo 122º: El Conjunto BOP debe tener la capacidad adecuada al riesgo, la exposición y grado de protección necesarios para controlar la presión del pozo y proteger el ambiente, sus bridas no pueden ser de menor rango que las especificaciones por el API SPEC 6A (o la especificación que la reemplaza o supera) y deben corresponder a las del Cabezal del Pozo.” (Evitar derrames)

“Artículo 132º: La perforación de un Pozo debe seguir en lo posible el programa, empleándose las técnicas más apropiadas usadas en la Industria del Petróleo para esta operación.” (Evitar derrames)

“Artículo 165º: Sobre el Control de Reventones; Todo equipo de perforación deberá estar provisto de un sistema para el control de reventones, Cuando la operación lo requiera, los equipos de servicio de Pozos deberán igualmente ser provistos de sistemas de control de reventones.” (Evitar derrames)

Decreto Supremo N° 015-2006-EM Reglamento de Normas para la Refinación y Procesamiento de Hidrocarburos

“Artículo 75º: Los productos de desperdicio de las Refinerías y Plantas de Procesamiento de Hidrocarburos deberá minimizarse tanto como sea posible, (...)”

Decreto Supremo N° 043-2007-EM; Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos

“Artículo 70º: Medidas para el control de derrames o fugas: las áreas de trabajo deben mantenerse limpias y ordenadas, cualquier derrame de hidrocarburos, otros productos derivados de los Hidrocarburos o producto químico debe limpiarse inmediatamente y anotarse en el registro de las emergencias que corresponda.”

“Artículo 145º: Sobre el Control de reventones: Todo equipo de perforación deberá estar provisto de un sistema para el control de reventones, cuando la operación lo requiera, los equipos de reacondicionamiento y de servicio de pozos deberán igualmente, ser provistos de sistemas de control de reventones.”

Decreto Supremo N° 015-2006-EM, Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos

“Artículo 3º: Los Titulares a que hace mención el artículo 2º son responsables por las emisiones atmosféricas, las descargas de efluentes líquidos, las

disposiciones de residuos sólidos y las emisiones de ruido, desde las instalaciones o unidades que construyan u operen directamente o a través de terceros, en particular de aquellas que excedan los Límites Máximos Permisibles (LMP) vigentes, y cualquier otra regulación adicional dispuesta por la autoridad competente sobre dichas emisiones, descargas o disposiciones. Son asimismo responsables por los Impactos Ambientales que se produzcan como resultado de las emisiones atmosféricas, descargas de efluentes líquidos, disposiciones de residuos sólidos y emisiones de ruidos no regulados y/o de los procesos efectuados en sus instalaciones por sus actividades. Asimismo, son responsables por los Impactos Ambientales provocados por el desarrollo de sus Actividades de Hidrocarburos y por los gastos que demande el Plan de Abandono.”

“Artículo 44º: En el almacenamiento y la manipulación de sustancias químicas en general, incluyendo lubricantes y combustibles, se deberá evitar la contaminación del aire, suelo, las aguas superficiales y subterráneas y se seguirán las indicaciones contenidas en las hojas de seguridad MSDS (“Material Safety Data Sheet”) de los fabricantes. Para ello, el almacenamiento deberá al menos proteger y/o aislar a las sustancias químicas de los agentes ambientales y realizarse en áreas impermeabilizadas y con sistemas de doble contención.”

“Artículo 48º: Los residuos sólidos en cualquiera de las Actividades de Hidrocarburos serán manejados de manera concordante con la Ley N° 27314 Ley General de Residuos Sólidos y su Reglamento, sus modificatorias, sustitutorias y complementarias. (...):

b) Los residuos sólidos peligrosos serán segregados y retirados del área donde se realiza la actividad de Hidrocarburos y dispuestos en un relleno de

seguridad, si se realizara almacenamiento temporal de estos residuos se hará en instalaciones que prevengan la contaminación atmosférica, de los suelos y de las aguas, sean superficiales o subterráneas, y su migración por efecto de la lluvia o el viento.(...)”

“Artículo 49º: Se prohíbe la disposición de residuos o efluentes líquidos en cuerpos o cursos de agua así como en tierra, si no se cuenta con la debida autorización, y la respectiva comunicación a la autoridad pertinente sobre las coordenadas del punto de vertimiento.

Antes de su disposición final, las Aguas Residuales Industriales, así como las de origen doméstico y de lluvia, serán segregadas y tratadas por separado para cumplir con los respectivos Límites Máximos Permisibles (LMP) vigentes. El Titular deberá demostrar mediante el uso de modelos de dispersión que la disposición del agua residual no compromete los usos actuales o futuros previstos del cuerpo receptor.

La DGAAE, previa opinión favorable de la DIGESA, establecerá limitaciones a los caudales de las corrientes de aguas residuales cuando éstas puedan comprometer el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental para las correspondientes aguas receptoras. Los métodos de tratamiento a utilizar podrán ser: neutralización, separación gravimétrica, flotación, floculación, biodegradación, centrifugación, adsorción, ósmosis inversa, etc.”

“Artículo 53º: El operador titular de la actividad de Hidrocarburos deberá llevar un registro de los incidentes de fugas, derrames y descargas no reguladas de Hidrocarburos y de cualquier sustancia química peligrosa manipulada como parte de su actividad; así mismo deberá informar al OSINERGMIN del incidente cuando el caso volumen de la fuga, derrame o descarga no regulada sea mayor a un (1) barril en el caso de hidrocarburos Líquidos, (...)”

“Artículo 55º: Cuando un proyecto pueda afectar a Comunidades nativas o campesinas, e incluirán en el EIA las medidas necesarias para prevenir, eliminar o minimizar los impactos ambientales negativos, debiendo la empresa divulgar entre la población los alcances de la actividad a realizar y el procedimiento de contingencias frente a derrames, incendios y otros accidentes industriales que puedan afectarlas.”

“Artículo 56º: Las áreas que por cualquier motivo resultaren contaminadas o de cualquier otra forma afectadas por las Actividades de Hidrocarburos deberán ser rehabilitadas en el plazo establecido por OSINERG teniendo en cuenta la magnitud de la contaminación, el daño ambiental y el riesgo de mantener esa situación. La ejecución de la rehabilitación será supervisada y fiscalizada por OSINERG.”

- **Ley 28611, Ley General del Ambiente (13-10-2005)**

“Artículo 91º.- Del Recurso Suelo: El Estado es responsable de promover y regular el uso sostenible del recurso suelo, buscando prevenir o reducir su pérdida y deterioro por erosión o contaminación. Cualquier actividad económica o de servicios debe evitar el uso de suelos con aptitud agrícola, según lo establezcan las normas correspondientes.”

“Artículo 113º.- De la calidad ambiental:

113.1 Toda persona natural o jurídica, pública o privada, tiene el deber de contribuir a prevenir, controlar y recuperar la calidad del ambiente y de sus componentes.

113.2 Son objetivos de la gestión ambiental en materia de calidad ambiental:

- a. *Preservar, conservar, mejorar y restaurar, según corresponda, la calidad del aire, el agua y los suelos y demás componentes del ambiente identificando y controlando los factores de riesgo que la afecten.*
- b. *Prevenir, controlar, restringir y evitar según sea el caso, actividades que generen efectos significativos, nocivos o peligrosos para el ambiente y sus componentes, en particular cuando ponen en riesgo la salud de las personas.”*

- **Ley N° 29134 Ley que regula los Pasivos Ambientales del Subsector Hidrocarburos (20-11-2007):**

“Artículo 4º.- Determinación de los responsables de los pasivos ambientales

El Ministerio de Energía y Minas, previo informe del OSINERGMIN, tiene a su cargo la determinación de los responsables de los pasivos ambientales, para lo cual tendrá en cuenta los siguientes criterios:

- a) *Las empresas que estén operando en las actividades del subsector hidrocarburos asumen la responsabilidad de los pasivos ambientales que hayan generado, así como aquellos generados por terceros que hayan asumido en los respectivos contratos de transferencia o cesión, o de cualquier otra forma.*
- b) *Las empresas que hubieran generado pasivos ambientales que no estén operando y cuyos titulares hayan sido identificados como generadores de los pasivos ambientales son responsables de estos.(...)”*

“Artículo 5º.- Mitigación de pasivos de alto riesgo

En los casos de pasivos ambientales que requieran inmediata mitigación, por representar un alto riesgo a la seguridad de la población, el Estado podrá

asumir los gastos de su remediación, debiendo repetir contra los responsables de la generación de dichos pasivos en los términos que se establezcan en el reglamento de la presente Ley.”

“Artículo 6º.- Presentación del Plan de Abandono de Área

Los responsables de los pasivos ambientales están obligados a presentar un Plan de Abandono de Área que contemple las acciones que se comprometen a efectuar para la descontaminación, restauración, reforestación, retiro de instalaciones y otras que sean necesarias para remediar los pasivos ambientales que hubieran generado, teniendo en cuenta las condiciones originales del ecosistema, las condiciones geográficas actuales y el uso futuro del área.

En caso que el responsable de un pasivo ambiental se encuentre imposibilitado físicamente de ejecutar la remediación parcial o total del área impactada, estará obligado a abonar el monto de la compensación que corresponda, el mismo que será determinado por el Ministerio de Energía y Minas y será utilizado para las actividades de abandono y remediación.(...)”

CAPITULO II

II.-1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para cuantificar el problema de estos residuos, se muestran a continuación ciertas cifras obtenidas en la investigación:

- La Refinería de Talara ha estado produciendo estos últimos años en promedio 4.6 Mbls de borra (mezcla de petróleo, agua y sedimentos en diferentes proporciones) y “slop oil” (mezcla similar a la anterior pero con menos proporción de sedimentos), y 23 Mbls de tierra “empetrolada”, por operaciones; en el caso de la limpieza de tanques se genera entre 20 Mbls y 30 Mbls de borra al año.
- La Estación Terminal Bayovar está produciendo anualmente alrededor de 30 Mbls de borra de la limpieza de los tanques.
- Una empresa productora en Talara, genera entre 10 Mbls y 20 Mbls de borra anuales.
- La borra generada en Talara es dispuesta de diferentes formas, a veces es vendida como combustible de baja calidad (compradores extranjeros) o transportada a un relleno industrial, perteneciente a Petroperú, llamado Milla 6; hay casos en que esta borra es recogida o comprada por terceros como servicio de limpieza de tanques, extraoficialmente se dice que la destilan para obtener combustibles de esta borra, pero aun así el residuo de esta supuesta refinación sigue siendo contaminante y peor aún es la combustión de esos combustibles extraídos.
- Y si se mencionan las operaciones de la selva, allá se encuentra una cantidad significativa de estos residuos contaminantes, puesto que su movilización es más complicada e implica un gasto extra para la empresa. Por lo que las empresas optan por almacenarlas in situ. Según la

investigación realizada, existen zonas de la selva donde se encuentra vegetación superficial pero al escarbar se halla tierra “empetrolada”, producto de operaciones pasadas.

- Además de esta borra se debe considerar que el agua de producción y los residuos de perforación contaminados con hidrocarburo (aproximadamente de 1500 a 5500 bls/día por cada pozo), son parte de esta problemática, lo que sucede con estos residuos, es que los entierran con una geomembrana y ahí acaba su disposición.
- Se verá algo más estadístico, por cada 75 bls de crudo producido se produce 1 bls de residuo oleoso. Si la producción mensual de petróleo crudo en el Perú es de **2 MMbls**, entonces se genera cerca de **320 Mbls anuales** de desecho de producción (borra), las refinerías generan (slop oil y borra) alrededor de **190 Mbls anuales** y el Oleoducto unos **30 Mbls anuales** (borra). Se ve que al final de un año la industria petrolera en nuestro país ha producido **540 Mbls** de borra y slop oil.
- Anualmente se genera aproximadamente **medio millón de barriles** de residuos oleosos más conocido como borra y “slop oil”, y esto solo en el Perú.

II.-1i IMPACTOS EN EL AMBIENTE

El siguiente análisis muestra los impactos ambientales causados durante la ejecución de las diferentes etapas de la industria (Tabla N°1):

Tabla N°1: IMPACTOS AMBIENTALES DEL PETROLEO

AMBIENTE	TIPO DE ACTIVIDAD			
	Exploración	Extracción, Producción y Procesamiento	Transporte	Uso y Eliminación
Atmosfera	Emisiones de H ₂ S e hidrocarburos como resultado de un estallido	Emisiones de SO ₂ , H ₂ S, CO ₂ , NO _x e hidrocarburos de refinerías.	Hidrocarburos volátiles o ligeros.	Emisiones de SO ₂ , CO ₂ e hidrocarburos
Hidrosfera	Estallidos y derrames de pozos de exploración marina que originan contaminación por petróleo	Estallidos y derrames. Eliminación de salmuera y productos químicos de perforación. Efluentes de las refinerías.	Accidentes de buques cisterna que originan contaminación por petróleo derramado.	Contaminación de aguas subterráneas por tanques con fugas.
Litosfera	Estallidos y derrames en tierra.	Estallidos y derrames. Eliminación de lodos.	Construcción de tuberías y vertederos. Daños al permafrost.	Eliminación de aceites usados.
Impactos Humanos	Perturbación del estilo de vida.	Interferencia con pesquerías.	Interferencia con pesquerías o uso del suelo. Perturbaciones del estilo de vida durante la construcción	Hidrocarburos que provienen de la combustión, incluso los aromáticos polinucleados.

Como se puede apreciar, los impactos en nuestro ambiente son varios debido a las actividades que se desarrollan en la industria, pero la investigación se centrará en la contaminación y los efectos futuros que se tendrá por culpa de la generación de borra y una supuesta inacción por parte de los operadores, en remediarlo.

Se comenzará con la contaminación de los suelos; los hidrocarburos del petróleo pueden ejercer un efecto tóxico directo disolviendo el tejido de las plantas. También se ha encontrado una disminución en el crecimiento de las plantas debido a la sofocación causada por la exclusión del aire del suelo o por el agotamiento del oxígeno debido al incremento de la actividad microbiana. A su vez puede haber interferencia con la relación agua-suelo-planta, y toxicidad por el azufre y exceso de manganeso producido durante la descomposición de los hidrocarburos. Se encontró además que se produce daño a las membranas celulares, que las tasas de transpiración se reducen, que se incrementan las tasas de respiración y que se inhibe el proceso de translocación.

Plice (1948) capturo las ideas de varios trabajos actuales entre los que encontró:

- “El daño que el petróleo produce, es debido mayoritariamente al impedimento de la vegetación para obtener suficiente aire y humedad y para ramificarse sus raíces: muy poco esta debido a la toxicidad, como tal”
- “...la materia orgánica mejora las condiciones físicas del suelo.”

Plice encontró además que el crudo, agregado a un suelo arenoso en proporción de 0.75%, estimulaba el crecimiento de soya, además observó que con un incremento de 4% de hidrocarburos las mismas plantas morían.

Simultáneamente a los efectos en las propiedades físicas y químicas del suelo, suceden cambios en las condiciones de fertilidad, donde se observaron incrementos en nitrógeno y contenido de materia orgánica.

Como se ve la contaminación de los suelos por el petróleo es prácticamente una devastación de suelos que podrían ser sustento de vida en algún momento (agricultura para el humano y medio de vida para cierta flora y fauna).

Como las borras contienen agua se tiene que tocar el tema de la contaminación de esta.

El agua freática o subterránea es una fuente vital de agua para beber y para el riego agrícola. Sin embargo es fácil de agotar porque se renueva muy lentamente. Cuando el agua freática llega a contaminarse no puede depurarse por sí misma debido a que los flujos de agua freática son lentos. También hay pocas bacterias degradadoras, porque no hay mucho oxígeno.

Efectos sobre el agua: en las aguas superficiales el vertido de petróleo u otros residuos produce disminución del contenido de oxígeno, aporte de sólidos y de sustancias orgánicas e inorgánicas.

La contaminación de las aguas por hidrocarburos en los sistemas de almacenamiento, en las fuentes de abastecimiento, subterráneas y superficiales, así como en otros cuerpos de agua es un hecho que ocurre con relativa frecuencia. Este tipo de contaminación produce un cambio en las propiedades organolépticas del agua que induce al rechazo de los consumidores, y su ingestión representa un riesgo para la salud; asimismo, el ecosistema puede sufrir afectaciones debidas al impacto negativo de estos contaminantes sobre sus diferentes componentes.

En resumen la contaminación del agua es la destrucción de un medio de vida así como también alteración de una fuente de vida para los seres vivos.

Pero ya se sabe que pasa ahora, ¿qué podría pasar en el futuro por esta contaminación?, la población humana crece según una progresión geométrica, por lo tanto cada vez es mayor la demanda de agua y alimentos y también las necesidades básicas para la vida del hombre.

Se verá en primer lugar el caso del agua: El requerimiento mínimo vital de agua por persona en el Perú es en promedio 0.03 bls/día, si dentro de 10 años habrá 32 Millones de personas, se requerirá 960 Mbls/día para sobrevivir. Pero si se continua contaminando el agua o la napa freática, se tendrá que afrontar agudos problemas de escasez del líquido elemento.

Se verá ahora el caso del suelo (sedimentos): Según "Global Footprint Network", en el 2006 la huella ecológica media anual del mundo era de 2.6 hgpc (hectáreas globales per cápita) y la reserva ecológica es de -0.8 hgpc en déficit. Mientras que en el Perú la huella ecológica es de 1.8 hgpc y la reserva ecológica es de 2.3 hgpc. Se debe considerar que la huella sigue subiendo mientras que la reserva ecológica decrece o en el mejor de los casos se mantiene igual.

¿Qué tiene que ver la huella ecológica con la contaminación de los suelos y aguas?. Esto tiene que ver con el cálculo de la huella; existen diversos métodos de estimación a partir del análisis de los recursos que una persona consume y de los residuos que produce.

Básicamente sus resultados están fundamentados en la observación de los siguientes aspectos:

- La cantidad de hectáreas utilizadas para urbanizar, generar infraestructuras y centros de trabajo.
- Hectáreas necesarias para proporcionar el alimento vegetal necesario.
- Superficie necesaria para pastos que alimenten al ganado.
- Superficie marina necesaria para producir el pescado.
- Hectáreas de bosque necesarias para absorber el CO₂ que provoca nuestro consumo energético. En este sentido no sólo incidiría el grado de eficiencia

energética alcanzado sino también las fuentes empleadas para su obtención: a mayor uso de energías renovables, menor huella ecológica.

Como se ha descrito anteriormente, el requerimiento para vivir sigue en aumento, pero se sigue contaminando los suelos.

Según el Índice de Actuación Ambiental ("Environmental Performance Index"), el EPI 2010, lista elaborada por expertos de la universidad de Yale y Columbia que ordena a 163 países según su actuación en 10 categorías como la calidad del aire, gestión del agua, de la biodiversidad, pesca, agricultura y lucha contra el cambio climático, los países que cuidan más el ambiente, por su actuación en el control de la contaminación y en la gestión de sus recursos naturales, son: Islandia (93.5), Suiza (89.1), Costa Rica (86.4) y Suecia (86.0). Mientras que el Perú se ubica en el puesto 31 con 69.3 puntos, EEUU ocupa el puesto 61 (63.5), China el 121 (49.0) y cierra la lista Sierra Leona con 32.1 puntos.

II.-2 OBJETIVOS

- II.- 2i** Dar cumplimiento a la actual legislación ambiental del Perú, adelantándose a mejoras y exigencias de éstas.
- II.- 2ii** El empleo de esta nueva tecnología para separar, tratar y recuperar los elementos contaminantes para ser reutilizados convirtiéndolos en elementos útiles para la supervivencia de las especies y mejorar la calidad de vida de los seres humanos contribuyendo de esta manera al desarrollo sostenible (Cumbre de Río 1993)
- II.- 2iii** Evitar el mal uso de las borras y "slop oil" tanto mediante la refinación informal con los residuos contaminantes que causa, como también su empleo como combustible con las consecuencias de contaminación que ello origina.

II.- 2iv Mejorar la recuperación final de hidrocarburos líquidos, con los beneficios económicos para el País que ello representa.

II.-3 FORMULACION DE LA HIPOTESIS

“La aplicación de condiciones térmicas y el conocimiento de las propiedades físico-químicas de las emulsiones dará resultados mejorados de la separación del residuo oleoso en sus componentes básicos: crudo, agua y sedimentos.”

La alta estabilidad de la emulsión se debe principalmente a que los sólidos presentes, son en su mayoría ultra-finos. Adicionalmente este tipo de residuos contienen una gran cantidad de sustancias químicas, las cuales actúan también como fuertes agentes emulsificantes.

Actualmente se emplean productos químicos como rompedores de emulsión, la mayoría de los cuales no son biodegradables por lo que son contaminantes, aunque con éxito relativo.

CAPITULO III

MARCO TEORICO

III.-1 TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO MÁS UTILIZADAS EN EL PERU Y EL MUNDO

Se han desarrollado muchas tecnologías para el tratamiento de suelos contaminados, algunos más usadas que otros, para los casos de derrames o residuos de petróleo, las técnicas más usadas son: almacenamiento (tanto en pozas como en contenedores), "Landfarming", biotecnología, la incineración, extracción química, estabilización – solidificación, en algunos casos se utiliza como un combustible suplementario para calderas; de todas estas las más usadas en Perú son: almacenamiento, biotecnología, "Landfarming" y como combustible suplementario (comercializándose como tal).

Existen algunos inconvenientes, para cada técnica, el tiempo de la remediación para el "Landfarming" puede llevar años, la utilización o incineración de los residuos deja otros que vendrían a ser el CO₂ y otros residuos gaseosos provenientes de la combustión y los residuos sólidos (cenizas).

La biotecnología, aparte del tiempo para ver resultados, es de efectividad cuestionable, y el confinamiento no da solución al problema solo posterga su tratamiento, el resumen de lo anteriormente manifestado se muestra a continuación.

Tabla N°2: Tecnologías de Tratamiento

Leyenda: B: Buena R: Regular M: Mala N/D: No determinado (depende de otros factores) N/A: No Aplicable I/I: Información Insuficiente S: Si N: No D: Desarrollado E: En Estudio S: Sólidos L: Líquidos V: Vapores		Estado de Desarrollo	Cadena de Tratamiento	Residuos Producidos	Disponibilidad	Sistema de Fiabilidad y Mantenimiento	Tiempo	No Halogenados VOCs	Halogenados VOCs	No Halogenados SVOCs	Halogenados SVOCs	Fuels	Inorgánicos	Explosivos	COSTO
Técnicas de Anulación	Almacenamiento	D	N	N/A	B	B	B	R	R	R	R	R	R	R	100 a 300 US\$/m ³
	Protección Superficial	D	N	L V	B	B	M	R	R	R	R	R	R	R	400 a 500 US\$/ha
	Pantallas de Aislamiento	D	N	N/A	B	B	M	B	B	B	B	B	B	B	550 a 750 US\$/m ² de barrera
	Sellado In situ	D	N	L V	B	B	M	R	R	R	R	R	R	R	Bajo
	Solidificación - Estabilización	D	N	S	B	B	B	M	M	R	R	M	B	R	190 a 330 US\$/m ³
	Vitrificación	D	N	S	B	B	B	M	M	R	R	M	B	M	800 a 1000 US\$/m ³
	Incineración	D	N	L S V	B	R	B	B	B	B	B	B	M	B	220 a 660 US\$/m ³
	Pirolisis	D	N	L S V	B	M	B	R	R	B	B	R	M	M	330 US\$/tn
Técnicas Físicas y Químicas	Arrastre de Vapores	D	S	L V	B	R	R	B	B	R	R	R	B	M	14 a 70 US\$/m ³
	Lavado in situ (soil flushing)	D	N	L	B	R	R	B	B	R	R	R	B	M	300 US\$/m ³ variable
	Lavado ex situ (soil washing)	D	S	S L	B	B	B	R	R	R	R	R	R	M	300 US\$/m ³
	Extracción Química	D	S	L	B	R	R	R	R	B	B	R	B	M	300 a 800 US\$/m ³
	Oxidación – Reducción in situ	D	N	N	B	R	B	R	R	M	R	M	N/D	R	Altos
	Oxidación – Reducción ex situ	D	S	S	B	B	B	R	R	R	R	R	B	R	190 a 660 US\$/m ³
	Deshalogenación	D	S	V	R	M	R	M	B	M	B	M	M	R	220 a 550 US\$/m ³
	Tratamiento Electroquímico	D	S	L	R	R	R	R	R	R	R	M	B	M	120 US\$/m ³
	Desorción Térmica in situ	D	S	L V	B	B	B	B	B	B	B	B	M	M	30 a 130 US\$/m ³
	Desorción Térmica ex situ	D	N	L S	B	R	B	B	B	B	B	B	M	B	45 a 330 US\$/tn
Técnicas Biológicas	Bioventing	D	N	N	B	B	R	B	N/D	B	M	B	M	M	10 a 70 US\$/m ³
	Bioremediación	D	N	N	B	R	R	B	B	B	N/D	B	N/D	B	30 a 100 US\$/m ³
	Fitoremediación	D	N	L S	R	M	M	R	R	R	N/D	R	R	M	10 a 150 US\$/m ³
	Biopilas	D	N	V	B	B	R	B	B	R	N/D	B	N/D	M	130 a 260 US\$/m ³
	Compostaje	D	N	N	B	B	R	R	R	R	N/D	B	M	B	150 a 220 US\$/m ³
	Landfarming	D	N	N	B	B	R	R	R	B	R	B	M	N/D	150 US\$/m ³
	Lodos	D	S	L V S	B	R	R	R	B	B	B	B	N/D	B	160 a 210 US\$/m ³

III.-2 DEFINICIONES

“Slop Oil”: Mezcla homogénea compuesta por Aceite, agua y sólidos generada por las operaciones relacionadas con la explotación. En refinación se le conoce como Borra Oleaginosa, se obtiene de limpieza de separadores agua-aceite, limpieza de cajas de sedimentación, limpieza de tanques de almacenamiento, limpieza de buzones, etc.

Borra: Se le dice así al residuo que queda en el fondo de los tanques de almacenamiento debido a la decantación de sólidos en el reposo del crudo en estos tanques.

Tierra “empetrolada”: Es tierra contaminada con petrolero, es producida en las operaciones de campo u otro proceso que produce ciertos derrames de crudo. Por ejemplo canales por donde pasan tuberías, cubetos de tierra de los tanques de almacenamiento, tierra de excavación de terreno para cambio de tuberías enterradas, etc.

Crudo Fuera de Especificación: Son las características del crudo que solicita la refinería en cuales debe ser entregado. En el Perú se debe cumplir con BSW = 0.25% Máximo y Sal = 10 PTB Máximo

Hidrocarburos totales de petróleo (TPH): Se usan para describir una gran familia de varios cientos de compuestos químicos originados de petróleo crudo. Algunas sustancias químicas que pueden encontrarse en los TPH incluyen a hexano, combustibles de aviones de reacción, aceites minerales, benceno, tolueno, xilenos, naftalina, y fluoreno, como también otros productos de petróleo y componentes de gasolina.

Efluentes: Corriente proveniente del sistema de tratamiento.

BS&W: Abreviación en inglés proveniente "Basic Sediment and Water" (BSW). El BS&W es la medida del agua y sólidos presentes en una muestra de petróleo, incluye el agua libre, sedimentos y emulsión y es medido como porcentaje en volumen de la muestra.

P.L.C: Abreviación en inglés proveniente de "Program Logic Control", que significa control lógico programable.

Fuerza "G": Fuerza de gravedad inducida por la fuerza de centrifuga cuando una masa es sometida a una rotación determinada.

QHSE: Abreviación en inglés que proviene de "Quality", "Health", "Safety" "Environment", que significan: Calidad, Salud, Seguridad y Ambiente.

Emulsión: Es una mezcla de dos líquidos inmiscibles en el cual uno líquido (Fase dispersa) es dispersado en otro (Fase continua) provocado por un agente emulsificante.

Desemulsificante: O agentes activos de superficie son sustancias que alteran las relaciones energéticas a nivel de las interfaces, produciendo una reducción de la interacción interfásica o de superficie. Los "agentes activos de superficie" conocidos son compuestos que atraen el agua (hidrófilos) y que la repelen (hidrófobos).

"Permafrost": En geología se le denomina a la capa de hielo permanentemente congelado en los niveles superficiales del suelo de las regiones muy frías. Puede encontrarse en áreas circumpolares de Canadá, Alaska, Rusia y norte de Europa.

Limite Máximo Permisible (LMP): Valores (medidas) de concentraciones o grado de elementos, sustancia o parámetros físicos, químicos y biológicos

presentes, que caracterizan a un afluente o una emisión. Si son excedidos estos valores se consideran dañinos para la salud, bienestar humano y para el ambiente.

Estándar de Calidad Ambiental (ECA): es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas, ni al ambiente.

Translocación: Movimiento de material genético en las cuales parte de un cromosoma se transfiere a otro cromosoma.

Propiedades Organolépticas: Son el conjunto de descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, como por ejemplo su sabor, textura, olor, color. Todas estas sensaciones producen al comer una sensación agradable o desagradable.

Huella Ecológica: Es un indicador agregado definido como «el área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos) necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población dada con un modo de vida específico de forma indefinida durante un año. Su objetivo fundamental consiste en evaluar el impacto sobre el planeta de un determinado modo o forma de vida y, comparado con la biocapacidad del planeta. Consecuentemente es un indicador clave para la sostenibilidad.

Sistema de Gestión Integrado (SGI): es la implementación de un Sistema de Gestión Integrado bajo las Normas *ISO 9001:2008*, *ISO 14001:2004*, *OHSAS 18001:2007* y *D.S. 009-2005-TR* (en el caso de Perú).

ISO 9001: Es una Norma que define los requisitos de un Sistema de Gestión de la Calidad, el objetivo de esta norma es lograr la satisfacción del cliente.

ISO 14001: Es una Norma que define los requisitos de un Sistema de Gestión Ambiental, el objetivo de esta norma es demostrar un sólido desempeño ambiental (cuidado del medio ambiente).

OHSAS 18001: Es una Norma que define los requisitos de un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional, el objetivo de esta norma es demostrar un sólido desempeño de seguridad y salud ocupacional (Cuidar a los trabajadores).

D.S. 009-2005-TR: Aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo para proteger la seguridad y salud de los trabajadores, a través de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo.

III.-3 DESCRIPCION DEL PROCESO

Debido a la estabilidad de la emulsión, se requiere de varios procesos, que permitan romper dicha emulsión y obtener las tres fases por separado; entre los cuales se tiene:

- Tratamiento Térmico (Intercambiadores de Calor).
- Tratamiento Químico (Rompedor de Emulsión Ambientalmente Amigable).
- Tratamiento Físico (Centrifugación).

El material a tratar se encuentra normalmente en piscinas para disposición de residuos oleosos, piscinas de separación API, en los sedimentos de tanques de baterías de producción o en contenedores.

De esta zona de almacenamiento se manda a un tanque recolector, a la salida del tanque recolector se le agrega el rompedor de emulsión (Tratamiento Químico), luego pasa a un intercambiador de calor (Tratamiento Térmico), ya elevada la temperatura del material pasa al reactor, ahí es donde el rompedor hace su función y empieza la separación de la emulsión. Luego entra a la centrifuga tricanter (Tratamiento Físico) que separa el material en sus tres componentes: agua, sedimentos y crudo.

El agua es enviado al tanque de tratamiento de agua, los sedimentos son mandados al incinerador de sedimentos (o a la unidad de desorción térmica, UDT, dependiendo de su concentración de HCs) y por el ultimo el crudo, que sigue conteniendo trazas agua y sedimentos, pasa a otro intercambiador de calor, tras este ingresa a la centrifuga vertical o separadora (Tratamiento Físico), esta centrifuga vuelva separar el crudo y las trazas de agua y sedimentos, enviándolos cada uno a la línea que le corresponde: el agua al tanque de tratamiento, el sedimento al incinerador (o a la unidad de desorción térmica, UDT) y el crudo al tanque recolector.

Queda el caso que el crudo pueda tener un gran contenido de sal por lo que entraría otra centrifuga vertical a la cual se le agrega agua dulce para el desalinado o lavado del crudo, de esta centrifuga vertical se salen tres líneas nuevamente a su lugar respectivo de recolección.

CAPITULO IV

METODOLOGIA DEL TRABAJO

IV.-1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL A TRATAR

La caracterización consiste en determinar la composición del material a tratar y la forma como se encuentra segregado en el lugar de disposición, bien sea en piscinas o en tanques de almacenamiento.

El muestreo se debe hacer tomando muestras en por lo menos tres puntos a diferentes profundidades, como se muestra en el siguiente diagrama:

DIAGRAMA N° 1



Las muestras deben ser llevadas al laboratorio, en donde se realizarán los análisis respectivos para determinar:

- Porcentaje de agua y sedimentos en la muestra mediante el análisis de BS&W
- Gravedad API del lodo.
- Salinidad y pH del agua presente en la muestra.
- Salinidad del crudo centrifugado.
- Tipo de emulsión (Directa o inversa).
- Prueba de Jarras para determinar el tipo de rompedor.

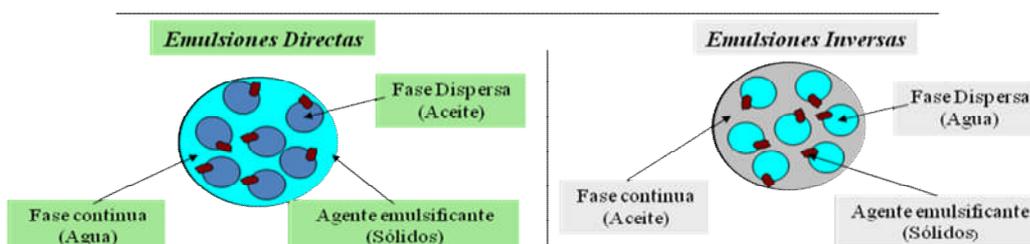
De acuerdo con la composición de la muestra y el tipo de aceite, se procede a diseñar el tratamiento a utilizarse para el proceso y el tipo de rompedor de emulsión ambientalmente más apropiado de acuerdo al tipo de crudo y emulsión descritos a continuación en la tabla N° 3.

TABLA N° 3

CLASIFICACIÓN DE LOS CRUDOS DE ACUERDO A LA GRAVEDAD A.P.I.	
Tipos de crudo	Grados A.P.I.
Liviano	30° A.P.I. o más
Mediano	Entre 22° a 29° A.P.I.
Pesado	Entre 11° a 21° A.P.I.
Extra pesado	Entre 1,0° a 10 ° A.P.I.
CLASIFICACIÓN DE LOS CRUDOS DE ACUERDO AL TIPO DE EMULSIÓN	
Tipos de Emulsión	Descripción
Emulsión directa	La fase continua es el agua
Emulsión Inversa	La fase continua es el aceite

Existen varios tipos de emulsión a tratar, las cuales presentan diferentes dificultades para su tratamiento, por lo cual se hace necesaria su definición previamente al diseño del tratamiento adecuado. Los diferentes tipo de emulsión se describen a continuación:

AGUA EN PETRÓLEO.- O directa. Comprende cerca del 99% de las emulsiones de los campos de petróleo. El contenido de agua puede variar de 0% a 80%, pero usualmente se encuentra en el rango de 10% a 35%.



PETRÓLEO EN AGUA.- O emulsión inversa, está compuesta de glóbulos de petróleo dispersados en una fase continua de aceite. Este tipo ocurre aproximadamente en el 1% de las emulsiones producidas, estando el petróleo muy diluido, conteniendo menos del 1% de petróleo.

El método más simple para la identificación de una emulsión es por examen microscópico. Una muestra de la emulsión es colocada bajo el microscopio, y luego una pequeña cantidad, ya sea de petróleo o agua, es agregada. Aquel líquido que parece ser miscible con la emulsión representa la fase continua.

Bajo un microscopio, los glóbulos individuales, son claramente visibles, por tanto por la prueba anterior y la apariencia de los glóbulos, los tipos más complicados podrán ser también identificados.

IV.-2 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL ROMPEDOR DE EMULSIÓN.

Como se ha observado previamente, en cada caso el material a tratar tiene sus propias características o propiedades físico-químicas y por ende, se debe seleccionar y diseñar un rompedor de emulsión apropiado para cada caso.

IV.-3 ESTABILIDAD Y ROMPIMIENTO DE LA EMULSIÓN

Las emulsiones poseen energía interfacial, por esto, son termodinámicamente inestables. Las emulsiones pueden ser rotas por tres mecanismos que son:

- SEDIMENTACIÓN,
- AGREGACIÓN, Y
- COALESCENCIA.

La sedimentación se refiere a la caída de las gotas de agua en el aceite crudo, el agrupamiento de dos o más gotas es llamado agregación y por último la

coalescencia que ocurre cuando las gotas originales pierden sus identidades y se funden en gotas más grandes reduciendo el área de interface total.

El rompimiento de la emulsión depende de los siguientes parámetros: película interfacial, viscosidad de la fase continua, tamaño de la gota, relación de volumen de fases, temperatura, pH, edad, salinidad de la salmuera y tipo de aceite.

IV.-4 TRATAMIENTO QUIMICO

Los compuestos químicos desemulsificantes son agentes activos de superficie, similares a los emulsificadores.

Los desemulsificantes tienen tres acciones principales:

- Fuerte atracción hacia la interface aceite-agua; ellos deben desplazar y/o neutralizar a los emulsificadores presentes en la película de la interface.
- Floculación: neutralizan las cargas eléctricas repulsivas entre las gotas dispersas, permitiendo el contacto de las mismas.
- Coalescencia: permiten que pequeñas gotas se unan a gotas más grandes que tengan suficiente peso para asentarse. Para esto se requiere que la película que rodea y estabiliza las gotas sea rota.

IV.-5 OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO QUIMICO

Los objetivos del diseño y selección del tratamiento químico son:

- Determinar la temperatura óptima del proceso.
- Determinar el pH óptimo del proceso.
- Seleccionar un producto o productos que puedan generar un aceite de buena calidad (BS&W menor al 0.25%).

- Seleccionar un producto o productos que brinden alta velocidad de separación, bajos costos de tratamiento y un menor consumo que productos.
- Buena calidad en los efluentes de agua y sedimentos.

IV.-6 EXTRACCIÓN DEL RESIDUOS OLEOSOS DESDE LAS PISCINAS DE ALMACENAMIENTO O TANQUES

Los residuos oleosos son fluidos que normalmente contienen basura como insectos, madera, plásticos, hojas de plantas y hasta chatarra metálica, por esta razón se debe considerar, un sistema apropiado de extracción del fluido sin que genere pérdidas de tiempo en el proceso de limpieza o por daños en el equipo.

El proceso de extracción consiste en:

- Instalar en la succión de la bomba, un filtro que impida el ingreso de partículas sólidas de gran tamaño al equipo mayor.
- A continuación de la bomba se instala otro sistema de filtración para prevenir daños al medidor de flujo y equipos de separación.
- Después del sistema de doble filtrado se instala un medidor de flujo con el cual se medirá el volumen a tratar.
- Realizar la inspección de las líneas y el equipo de acuerdo al formato de inspección.
- Alistar recipientes y material absorbente en caso de posibles goteos, en el momento de realizar las conexiones e iniciar el bombeo de emulsión.
- Iniciar el bombeo, revisando continuamente las líneas y parar el bombeo en caso de algún derrame o goteo y realizar los ajustes.
- Operar la bomba neumática de acuerdo al manual de operación correspondiente.

- Encender el compresor y operarlo, de acuerdo al manual de operación correspondiente.
- Iniciar el llenado del tanque de control de calidad con capacidad para 100 bls.
- Cuando sea necesario para el proceso, se deben drenar las líneas y lavar las líneas de equipo.
- Durante la operación del equipo, se deben limpiar periódicamente los filtros para garantizar un bombeo constante.

IV.-7 TRATAMIENTO TÉRMICO

Los tratadores-calentadores pueden ser de tipo directo e indirecto en función de la forma en que se aplica el calor.

En los calentadores-tratadores de tipo directo el calor es transferido por contacto directo de la corriente alimentada con el calentador. Aunque este tipo presenta problemas de sedimentos y de corrosión pueden manejar mayores volúmenes de fluidos con menor gasto de combustible que los calentadores indirectos.

Estos calentadores directos operan eficientemente en procesos operando en baja presión y donde los fluidos manejados no son muy corrosivos.

En los calentadores de tipo indirecto primero se calienta un fluido. Posteriormente a través de un intercambiador de calor el fluido de calentamiento transfiere calor a la corriente de alimentación.

En este tipo de calentadores disminuye el riesgo de explosión y son utilizados en instalaciones donde es posible recuperar calor, tales como el gas caliente de salida de las turbinas.

En general el calentamiento ya sea de tipo directo o indirecto tiene las siguientes ventajas:

- Reduce la viscosidad de la fase continua: un incremento en la temperatura de 10 °F (aprox. 10 °C) baja la viscosidad de la emulsión por un factor de 2.
- Incrementa el movimiento browniano y la colisión de las gotas de agua para su coalescencia.
- Incrementa la diferencia de densidad entre la salmuera y el crudo.
- Promueve una mejor distribución del desemulsificante.
- Disuelve las parafinas cristalizadas que le dan estabilidad a las emulsiones. Esto se logra manteniendo la temperatura del crudo por arriba de su punto de nube.
- Debilita la película de emulsificante que rodea a las gotas de agua.

Sin embargo el calentamiento presenta las siguientes desventajas:

- Provoca la migración de los compuestos más volátiles del crudo hacia la fase gas. Esta pérdida de ligeros en el crudo provoca una disminución de volumen del crudo calentado (encogimiento) y una disminución en su gravedad API.
- Incrementa los costos de combustible.
- Incrementa los riesgos en las instalaciones.
- Requieren mayor instrumentación y control.
- Causa depósitos de "coke".

IV.-8 OBJETIVO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

El objetivo de esta etapa, es lograr bajar la viscosidad de la emulsión y así aumentar la eficiencia de separación con un equipo de separación.

Este calentamiento se puede realizar por medio de una caldera o por calentadores en línea de crudo. La emulsión se debe calentar de acuerdo a las pruebas de laboratorio realizadas previamente y siguiendo los siguientes pasos:

- Verificar líneas de vapor
- Verificar líneas de combustible
- Verificar niveles de agua en caso de utilizar calderas de vapor; en caso de calentadores de fuego indirecto, verificar el nivel de fluido.
- Encender el calentador o caldera de acuerdo a su manual de operación correspondiente.
- Calentar hasta la temperatura de proceso indicada previamente, de acuerdo a los análisis de laboratorio.
- Recircular el fluido a tratar, hasta garantizar que la temperatura esté homogénea, antes de entrar al equipo de separación.

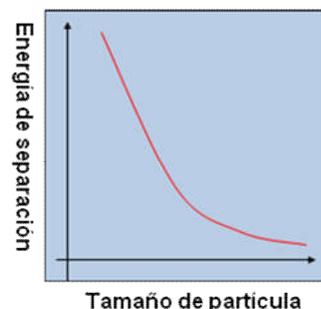
IV.-9 PRIMERA ETAPA DE SEPARACIÓN

Para entrar a esta parte se comenzará con la base teórica de la separación.

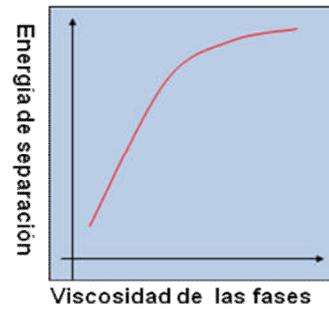
IV.- 9i PRINCIPIOS DE SEPARACION

En primer lugar es necesario tener en cuenta los principios relacionados con la *Energía de Separación*:

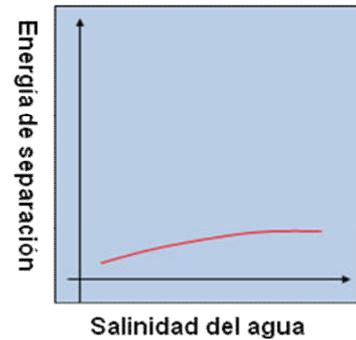
- *Tamaño de partícula*: Debido a que al tener un menor tamaño y a la vez menor peso, se necesitará suministrarle gran cantidad de fuerza “G”, para poder separarla, esto refleja un mayor gasto de energía proporcionada por la centrifuga.



- *Viscosidad de las fases:* Mientras más viscosa sea la emulsión, mayor tensión interfacial poseerá, por lo tanto será necesario suministrar mayor energía a mayor viscosidad.

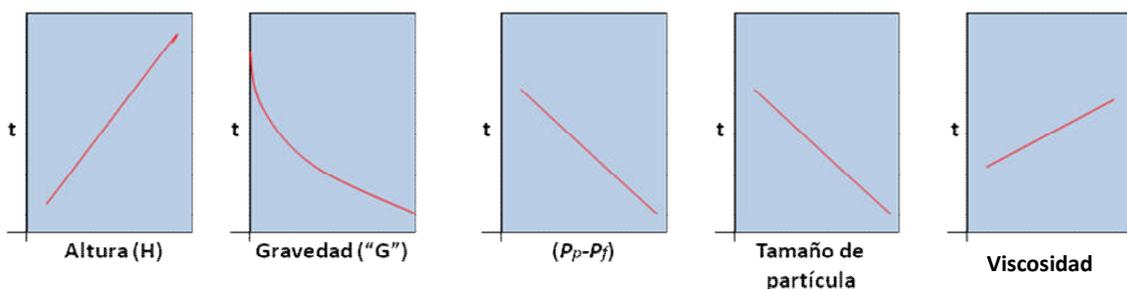


- *Salinidad:* Sin un rompedor esta separación requiere mayor energía; debido a que la sal brinda estabilidad a la emulsión; aunque que el requerimiento de energía es bajo, con el aumento de la salinidad.



En segundo término se debe contemplar el caso de la velocidad de sedimentación o tiempo de sedimentación y su relación a ciertas variables:

- Altura o Profundidad (H)
- Gravedad o Fuerza "G"
- Diferencia de Densidades entre la partícula y el fluido ($P_p - P_f$)
- Tamaño de Partícula
- Viscosidad



En tercer lugar es necesario contemplar la velocidad de sedimentación según la Ley de Stokes la cual se refiere a la fuerza de fricción experimentada por

objetos esféricos moviéndose en el seno de un fluido viscoso en un régimen laminar de bajo número de Reynolds. En general la ley de Stokes es válida en el movimiento de partículas esféricas pequeñas moviéndose a velocidades bajas.

La ley de Stokes puede escribirse como:

$$F_r = 6\pi R\eta v$$

Donde R es el radio de la esfera, v su velocidad y η la viscosidad del fluido.

La condición de bajo número de Reynolds implica un flujo laminar, lo cual puede traducirse por una velocidad relativa entre la esfera y el medio inferior a un cierto valor crítico. En estas condiciones la resistencia que ofrece el medio es debida casi exclusivamente a las fuerzas de rozamiento que se oponen al deslizamiento de unas capas de fluido sobre otras a partir de la capa límite adherida al cuerpo. La ley de Stokes se ha comprobado experimentalmente en multitud de fluidos y condiciones.

Si las partículas están cayendo verticalmente en un fluido viscoso debido a su propio peso puede calcularse su velocidad de sedimentación igualando la fuerza de fricción con el peso aparente de la partícula en el fluido.

$$F_r = mg = \rho_a g = (\rho_p - \rho_f)V_p g$$

Considerando una particular ideal (redonda), el volumen de la partícula es:

$$V_p = \frac{4}{3}\pi R^3$$

$$(\rho_p - \rho_f)\frac{4}{3}\pi R^3 g = 6\pi R\eta v$$

$$(\rho_p - \rho_f)\frac{2}{3}R^2 g = 3\eta v$$

$$v = \frac{2R^2g}{9\eta}(\rho_p - \rho_f)$$

$$v = \left(\frac{1}{36}\right) \frac{D^2g}{\eta}(\rho_p - \rho_f)$$

$$V_s = k \frac{D^2g}{\eta}(\rho_p - \rho_f)$$

Donde:

V_s : es la velocidad de caída de las partículas (velocidad límite)

g : es la aceleración de la gravedad,

ρ_p : es la densidad de las partículas y

ρ_f : es la densidad del fluido.

η : es la viscosidad del fluido.

D : es el diámetro de la partícula.

Como se puede apreciar, para aumentar la velocidad de sedimentación se debe disminuir la viscosidad del fluido a un valor mínimo posible y aumentar la aceleración por gravedad, lo que permitiría acelerar el proceso de separación de las partículas.

La base física de la relación entre la fuerza G y la centrífuga es la acción de la fuerza centrífuga sobre las partículas en rotación, que aumenta con el radio del campo rotacional y con la velocidad de rotación.

La fuerza centrífuga relativa guarda relación con el número de revoluciones del rotor por minuto conforme a la fórmula:

$$FCR = 1.118 * 10^{-6} * d * RPM^2$$

En donde:

FCR : Fuerza centrífuga relativa (G)

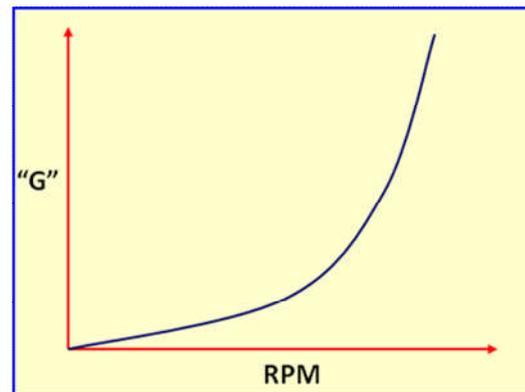
D : Distancia desde el pivote de la centrifuga hasta la punta del punto, y

RPM : Número de revoluciones por minuto

Entonces:

$$\text{Fuerza } G = k * d * \text{RPM}^2$$

Ahora se puede observar que es posible modificar fácilmente la velocidad (rpm) de la centrifuga teniendo presente que a mayor



velocidad (rpm) se obtiene una mayor fuerza "G", acelerando el proceso de separación de las partículas.

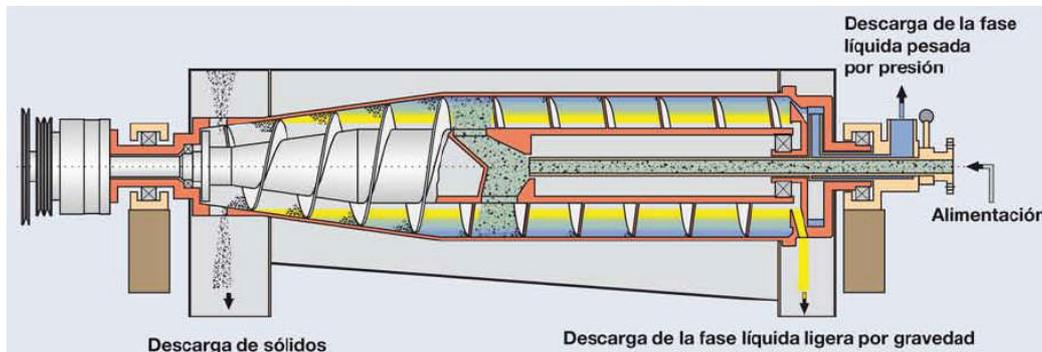
IV.-9ii SELECCIÓN DEL TIPO DE CENTRIFUGA

Hay una amplia gama de centrifugadoras industriales actualmente disponibles en el mercado. Sin embargo, para poder seleccionar la más adecuada para una aplicación específica, se requiere de un conocimiento profundo de las distintas opciones. En este caso se dispondrán de 02 tipos de ellas:

- Centrifuga Decantadora de tres fases o Tricanter, y
- Centrifuga Vertical o de Discos también separadora de tres fases.

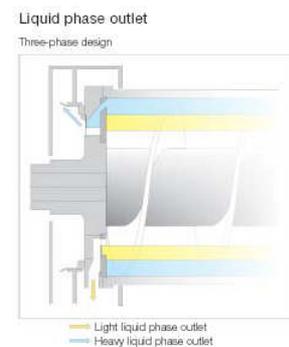
La cuestión principal es definir cuál de ellas se debe emplear primero en nuestro proceso, la Tricanter o la de discos, la respuesta a esto se verá en las definiciones de cada una de ellas.

Centrifuga Horizontal o Decantadora: Las centrifugas decantadoras se caracterizan por un tazón horizontal con una sección cilíndrica y una sección cónica, con una relación de longitud a diámetro entre 1.5 - 3.5. El tazón contiene un tornillo transportador que gira en la misma dirección, pero a una



velocidad ligeramente superior o inferior que el tazón (entre 5 – 100 RPM.) de diferencia. Las velocidades de rotación son de 1600 a 6000 RPM por lo que los campos centrífugos son menores que los de los otros equipos.

En las centrifugas decantadoras la mezcla es introducida a través de perforaciones por un tubo axial concéntrico a la flecha del tornillo. Los sólidos que se depositan en la pared son transportados y descargados continuamente por el extremo cónico de la centrifuga, donde escurren antes de salir. El líquido o líquidos separados se obtienen por rebosamiento en el extremo opuesto a través de orificios de descarga que fijan el nivel del líquido en la centrifuga, según el nivel de los líquidos separados, como se sabe por la diferencia de densidades.



Existen diversos diseños de centrifugas decantadoras. Pero se tomará un equipo como referencia:

EQUIPO	DESCRIPCIÓN FÍSICA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
<p style="text-align: center;">CENTRIFUGA TRICANTER (DECANTADORA 3 FASES)</p>		Características	Dimensiones
		Longitud del Tazón	2032mm (80in)
		Diámetro del Tazón	508mm (20in)
		Peso Total	4800Kg (10560lb)
		Peso del Rotor	920Kg (2024lb)
		Máxima velocidad del Tazón	2000 RPM
		Largo	4500mm (117.2in)

Según los procesos, las funciones de este equipo, permite:

- En mezcla de Sólido-Líquido (2 Fases):
 - Clarificación de Líquidos
 - Concentración de Sólidos
- En mezcla de Sólido-Líquido-Líquido (3 Fases):
 - Separación de mezcla con sólidos.
- En extracción:
 - Extracción de Sólidos.

Centrifuga Vertical o de Discos: La centrifuga de discos consta de un eje vertical sobre el cual se montan un conjunto de discos en forma de conos truncados, uno sobre otro. El rotor de la centrifuga provoca el giro tanto de los discos como del tazón de la centrifuga. Los discos constan de bordes internos que permiten mantener pequeñas separaciones entre ellos, del orden de 0.5 a 2.0mm. El ángulo que forman los conos con la vertical varía entre 35 y 50° dependiendo de la aplicación particular. Entre la pila de discos y el tazón existe un espacio que permite la acumulación de sólidos.

Durante la operación de la centrifuga de discos la mezcla es alimentada en el fondo del tazón a través de la parte central de la flecha, y fluye hacia arriba entre las placas hacia la salida en la parte central superior del equipo. Debido a la fuerza centrífuga, los sólidos se depositan en la cara interna de los discos, resbalando hacia la cámara colectora debido al ángulo de los discos.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN FÍSICA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
<p>CENTRIFUGA TRICANTER MAPX 209 (DECANTADORA 3 FASES)</p>		Características	Dimensiones
		Ancho	2200mm (86.6in)
		Alto	1082mm (42.6in)
		Fuerza G	7,000 @ 6,000RPM
		Ratio Caja	71:1
		Potencia Motor	15HP
		Tipo Arrancador	Estrella Triangulo
		Torque Máximo Caja Reductora	49,000lb.in

Según los procesos, las funciones de este equipo, permite:

- En mezcla de Sólido-Líquido (2 Fases):
 - Clarificación de Líquidos
 - Concentración de Sólidos
- En mezcla de Líquido-Líquido (2 Fases):
 - Separación de mezclas líquidas.
- En mezcla de Sólido-Líquido-Líquido (3 Fases):
 - Separación de mezclas líquidas con sólidos.
- En extracción:
 - Extracción de Líquidos.

Se concluye al final de esta explicación que la centrifuga tricanter sirve para separar sólidos y gotas de líquidos de gran tamaño, mientras que la centrifuga de discos sirve para separar sólidos y líquidos (gotas) de menor tamaño. Por tal motivo en la configuración del tratamiento se coloca la centrifuga tricanter en la primera etapa debido que así se logrará la separación en mayor traza, mientras que la centrifuga de discos iría en la segunda etapa para realizar un trabajo más minucioso y detallado (clarificación) en la separación de sólidos extremadamente pequeños. En los anexos se encuentra información acerca de la selección del tipo de centrifuga, a parte del tamaño de partículas, también se considera el tipo de material a tratar.

IV.-9iii **OBJETIVO DE LA PRIMERA ETAPA DE SEPARACION**

Una vez se haya alcanzado la temperatura del proceso, la emulsión se bombea desde el tanque de control de calidad hacia la centrífuga decantadora; en este proceso, se obtiene una corriente de emulsión acondicionada para la siguiente etapa y otra corriente de sólidos, que será descargada a un tanque de recolección.

La finalidad de esta etapa, es separar la mayor cantidad de sólidos y acondicionar la emulsión antes de ingresar a las Centrífugas Separadoras (Segunda etapa de separación); esta operación se realiza mediante una Centrífuga Decantadora de tres fases, la cual aplica una fuerza



centrífuga o también denominada fuerza "G", aproximadamente 2700 "G". Por medio de la rotación se induce una gravedad adicional a las partículas sólidas, la cual hace que se aumente el peso y por ende la velocidad de decantación, depositándose abajo las más pesadas. Con lo cual se tendrá a los sólidos pegados a la pared del tazón, encima de ellos las moléculas de agua y en la capa más alejada de la pared se encontrará el crudo.

IV.-10 SEGUNDA ETAPA DE SEPARACIÓN

El objetivo de esta etapa, es romper la emulsión utilizando una Centrífuga Vertical Separadora de alta eficiencia; este equipo cuenta con un diseño interno, que permite aplicar una mayor fuerza "G" comparada con la etapa anterior, aproximadamente 9,000 "G"; y un sistema de discos que acelera la decantación de los sólidos; esta configuración interna, hace posible romper la emulsión; adicionalmente cuenta con un sistema de desnatado de aceite, que permite separar continuamente el agua del aceite; los sólidos son acumulados en las paredes del tambor y son descargados periódicamente.

La unidad cuenta con un controlador de proceso lógico (PLC) el cual debe ser programado de acuerdo a las características del fluido y a la tasa de tratamiento.

El equipo es alimentado con la emulsión previamente acondicionada, que proviene de la centrífuga decantadora.

El agua es bombeada al sistema de tratamiento de aguas, los sedimentos se descargan en el tanque recolector, del cual pasaran a un proceso final (Incinerador o UDT), y el crudo recuperado, pasa a la siguiente etapa de lavado (desalinización).

IV.-11 PROCESO DE DESALINIZACIÓN

Esta etapa se aplica, cuando el agua que compone la emulsión es salada y esta sal, no es eliminada durante el proceso de separación, por centrifugación. Para esto se toma una muestra de aceite lavado y se determina la salinidad del mismo y si cumple con los estándares para entrega.

La desalinización consiste, en lavar con agua fresca el crudo recuperado de la anterior etapa, para disolver los iones salinos remanentes en el aceite; para

esto se requiere una centrífuga de discos, que permita separar nuevamente el agua de lavado. Si la concentración de sal aun no cumple con el estándar, se debe aumentar el volumen de agua de lavado hasta ajustar este parámetro a los valores establecidos.

Para esta etapa hay que tener en cuenta que la concentración de sólidos es muy baja, menor al 1%, por lo tanto hay que tener en cuenta para la programación del P.L.C, que los ciclos son mucho más largos que en la etapa anterior. Esto se debe a que la centrifuga separadora trabaja por baches y no con flujo constante dentro de ello como en la tricanter.

En referencia a la corriente de agua de lavado obtenida en este proceso, pasa al sistema de tratamiento de clarificación de agua.

IV.-12 PROCESO DE TRATAMIENTO DE CLARIFICACIÓN DE AGUA

El objetivo de este proceso, es eliminar los sólidos suspendidos presentes en el agua, para su posterior disposición; para el caso de aguas dulces, se dispondrán al medio ambiente y para el caso de aguas saladas, se dispondrán en el sistema de inyección de aguas de las baterías de producción.

Las aguas generadas por cada etapa del proceso, son bombeadas hasta el sistema del tratamiento, de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Desnatar el aceite presente en el agua.
- Determinar el pH de agua
- Realizar las pruebas de jarras para determinar la dosificación de floculante.
- Ajustar el pH del agua, de acuerdo a los requerimientos del floculante.
- Dosificar el floculante.
- Esperar el tiempo de reposo hasta que los sólidos se sedimenten.
- Una vez el agua sea clarificada, coordinar la disposición de la misma.

- Periódicamente, evacuar los sedimentos del fondo del tanque de tratamiento y coordinar la disposición.

IV.-13 PROCESO DE TRATAMIENTO DE SÓLIDOS

Este proceso tiene dos métodos de tratamiento de los sólidos obtenidos de la separaciones en cada centrifuga: 1) Incinerador de Sólidos y 2) Unidad de Desorción Térmica (UDT), esto depende de la concentración de HCs contenido en la corriente de sedimentos. El incinerador se usa para el caso que se encuentre una concentración menor al 10% en los sedimentos, caso contrario se utiliza un UDT.

El objetivo de este proceso, es eliminar o separar la fracción de aceite presente en la corriente de sólidos, hasta los valores requeridos para disposición. Los sólidos que son descartados por la centrífuga decantadora y la centrífuga de discos, no eliminan totalmente el aceite en esta corriente, por tanto se requiere de un proceso adicional para su eliminación o separación total.

El *primer método* actúa mediante un proceso de incineración por etapas. El incinerador es un equipo compacto y modular, compuesto por dos cámaras acopladas, de tal manera que los gases generados por la combustión principal en la primera (Cámara principal) pasan a la segunda (Cámara de post-combustión), mediante regímenes de aire, velocidad, temperatura controlada, apropiados, permitiendo una combustión completa.

El incinerador está compuesto de:

- **Primera etapa de combustión o de proceso:** Ubicada en la parte inferior del equipo, quema los sólidos, los cuales generan gases, que pasan a la siguiente etapa de combustión y el hidrocarburo presente en los sólidos, es oxidado completamente, dejándolo totalmente libre de hidrocarburos.

- **Segunda etapa de combustión o de control de emisiones:** Los gases generados por la primera cámara son nuevamente quemados, para garantizar la calidad de las emisiones de los gases, según las normas establecidas para incineración de materiales peligrosos; esta cámara está ubicada en la parte superior de la anterior y aisladas térmicamente.
- **Sistema de control de partículas sólidas en los gases:** Los gases antes de ser descargados a la chimenea, pasan a través de un sistema dual de ciclones recolectores de partículas, los cuales separan la ceniza de los gases generados por la combustión.
- **Chimenea:** Fabricada en segmentos de lámina de dos (2) metros de longitud, son modulares para lograr la altura necesaria de acuerdo a las normas requeridas del área y sistema de amarres de vientos para sostener y dar estabilidad de la chimenea.
- **Sistema de Combustión:** Quemador diesel. Compuesto de bomba de combustible y soplador de aire y control automático de encendido y apagado.
- **Sistema de alimentación:** Sistema de tornillo Transportador automático, controlado por un PLC; este sistema reduce la posibilidad de accidente y facilita la labor del operario.

Los sólidos incinerados, deben ser analizados para determinar el porcentaje de hidrocarburo, por medio del análisis de retorta. En caso que los sólidos no cumplan con la concentración de hidrocarburo requerido, se deben ajustar los parámetros de operación del equipo, si el material cumple las especificaciones, se debe coordinar la disposición de los mismos.

El *segundo método*, UDT, consiste en un equipo de secado indirecto mediante quemadores que calientan un rotor de acero inoxidable por el cual el material húmedo (sedimentos conteniendo crudo y agua) a secar se transporta debido a

la rotación e inclinación que posee. Este material húmedo ingresa previamente a la unidad a través de la tolva que posee y con ayuda de una retroexcavadora, un tornillo sin fin transporta este material desde su ingreso en la tolva hasta el interior de la unidad, A medida que el material se seca, genera vapores tanto de agua como de hidrocarburos, estos vapores egresan del cilindro por la parte superior de la campana que rodea el tornillo de alimentación gracias a la succión generada por un soplador, ubicado al final del sistema de condensación; este sistema de condensación consta de un serpentín dotado con regaderas de liquido frío, en donde las aspersion y el contacto a contracorriente entre los vapores y el liquido frío generan la condensación deseada; luego de que los vapores se condensen en su mayoría, son succionados por el soplador que los inyecta por la parte inferior del tanque de condensación en donde se termina de condensar por burbujeo y contacto con el liquido allí presente. El condensado y el liquido condensante bajan por el serpentín hacia el tanque de condensado en donde se almacena y de donde se bombea para ser enfriado y ser usado nuevamente ó para ser enviado periódicamente hacia el tanque de disposición respectivo. Los sólidos secos egresan de la unidad por un sistema de compuertas que impiden la entrada de aire al cilindro y son almacenados en el tanque de sólidos secos.



Como se ve la etapa de desalinización así como el uso de la UDT son etapas opcionales, los cuales pueden surgir en el momento de llevado a cabo el proceso o en sus previos análisis y estimaciones. Por ejemplo si se tiene dos centrifugas separadoras una destinada para la 2da etapa de separación y la otra para la etapa de desalinización; pero se observa que la concentración de sal saliendo de la 2da etapa cumple con el requerimiento estándar se puede desactivar la etapa de desalinización y utilizar esta centrifuga poniéndola a trabajar en paralelo con la otra en la 2da etapa de centrifugación. En el caso de la UDT su uso depende también del interés ambiental de la empresa en querer separar el remanente de hidrocarburos en los sólidos sin necesidad de quemarlos y contaminar, como también se puede considerar el caso que dentro de todo el material que se va a procesar para separar se encuentre tierra “empetrolada”, imposible de bombear pero dependiendo del contenido de crudo se puede saltar las etapas anteriores e ingresar este material a la etapa de tratamiento de sólidos, ya sea la incineración o la desorción térmica.

Como se ve la idea del tratamiento es optimizar el mismo en el momento en que empieza a operar. Desde la etapa del Tratamiento Químico hasta la etapa del Tratamiento de Sólidos.

CAPITULO V

V.-1 ASPECTOS DE CALIDAD, SEGURIDAD, SALUD Y AMBIENTE

Una forma segura de gestionar con éxito una organización o una actividad consiste en conseguir el involucramiento de las personas en ese compromiso. Con lo cual se busca eliminar riesgos que originen un efecto negativo en el ámbito de seguridad, salud y medio ambiente.

La idea de esta parte es fomentar un ambiente seguro, saludable y libre de impactos al medio en el que se realiza la actividad.

Por lo cual se han tomado los siguientes directrices a cumplir:

- Divulgar el presente procedimiento al personal involucrado en la operación, con el objeto de garantizar u política de cero derrames, cero lesiones y cero pérdidas de tiempo.
- Entrenar al personal en las tareas correspondientes a cada etapa del proceso de manejo, tratamiento y disposición de efluentes.
- Inspeccionar los equipos y realizar los registros pertinentes de control.
- El frente de trabajo debe contar con herramientas y material de contingencia para atención en caso de derrames.
- Las áreas de cargue y descargue, deben permanecer ordenadas y sin presencia de lodos o hidrocarburos.
- El personal debe utilizar sus EPPs, como guantes, lentes de seguridad, casco, botas de seguridad, protección auditiva y respiratoria dependiendo del área de trabajo.
- Evaluar los riesgos, implantar medidas para la minimización de estos riesgos, divulgarlos y documentarlo (IPER).

Estas directrices deben estar incluidas en el reglamento interno de la empresa tanto en el personal interno como en proveedores y clientes.

Para llevar un adecuado control del tratamiento y verificar que los estimados de producción y de los procesos no se desvíen de los esperados, se llevara un Sistema de Registro, el cual consiste de 04 partes o secciones:

1. Reporte Diario de Operaciones
2. Lista de Chequeo Pre-Operacional ("Check List")
3. Reporte de Mantenimiento
4. Análisis de Riesgo

NOMBRE DEL REGISTRO	RESPONSABLE DEL ARCHIVO	LUGAR DE ALMACENAMIENTO	FORMA DE ORGANIZACIÓN	TIEMPO DE RETENCIÓN	DISPOSICIÓN FINAL
Reporte Diario de operaciones.	Ing. Supervisor de Campo	Caseta de Laboratorio y copia en la base de operaciones	Cronológica	3 años	Archivo muerto a un año y destrucción.
Lista de Chequeo Pre-Operacional.	Técnicos de Equipo	Caseta de Laboratorio y copia en la base de operaciones	Cronológica	3 años	Archivo muerto a un año y destrucción.
Reporte de Mantenimiento.	Operador de Equipos	Caseta de Laboratorio y copia en la base de operaciones	Cronológica	3 años	Archivo muerto a un año y destrucción.
Análisis de Riesgo,	Ing. Supervisor de Campo	Caseta de Laboratorio y copia en la base de operaciones	Cronológica	3 años	Archivo muerto a un año y destrucción.

Cada sección tendrá un responsable tal como se describe en el cuadro el cual también dice más detalle del Sistema de Registro.

La importancia del registro no es solo contabilizar la cantidad procesada y/o producida del crudo recuperado, sino también permitirá prevenir, corregir, mejorar y optimizar el tratamiento en forma global o en cada una de sus distintas etapas.

CAPITULO VI

ANALISIS ECONOMICO

Este tratamiento consta esencialmente de una parte principal (Tratamiento por Centrifugación) y dos secundarias alternativas una de otra (Unidad de Desorción Térmica e Incinerador de Sedimentos) cuyos costos unitarios se señalan a continuación.

Separación por Centrifugación	:	110 a 220 US\$/m ³
Unidad de Desorción Térmica	:	160 US\$/m ³
Incinerador de Sedimentos	:	40 US\$/m ³

El tratamiento diseñado para cualquiera de sus configuraciones tiene una capacidad de procesamiento de 200 a 250 barriles/día.

Se explicará 2 casos como ejemplo:

Primer caso: Se tiene 10 Mm³ de material de desecho a tratar con 80% contenido de crudo y 5% de sedimentos, el °API del desecho es 10.8 y el °API del crudo recuperado es 15. Se le hará un tratamiento de centrifugación así como también un tratamiento de desorción térmica. Al crudo recuperado se le aplicara un castigo el cual consta de reducir precio del barril al 60% del real debido a su bajo API° y al grado de exposición sufrido.

El resumen de los resultados se muestra en la tabla siguiente:

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA							
VOLUMEN DE RESIDUOS m3	°API DEL DESECHO	°API DEL CRUDO RECUPERADO	CRUDO RECUPERABLE 80% (BBL)	PRECIO CRUDO US\$/BBL	CASTIGO POR API	PRECIO CRUDO RECUPERADO (US\$/BBL)	VALOR TOTAL CRUDO RECUPERADO
10,000	10.8	15	50,320	USD\$ 75	x(60%)	USD\$ 45	USD\$ 2,264,400
COSTO POR BBL DE DESECHO A PROCESAR							
VOLUMEN DE RESIDUOS m3	COSTO POR TRATAMIENTO DE CENTRIFUGACION						COSTOS
10,000	USD\$ 140						USD\$ 1,400,000
VOLUMEN DE SEDIMENTOS m3	COSTO POR TRATAMIENTO TERMICO DE SEDIMENTOS (UDT)						COSTOS
500	USD\$ 160						USD\$ 80,000
						COSTOS TOTAL DE TRATAMIENTO	USD\$ 1,480,000
						UTILIDAD BRUTA	USD\$ 784,400

Segundo caso: Se tiene 10 Mm³ de material de desecho a tratar con 75% contenido de crudo y 10% de sedimentos, el °API del desecho es 10.5 y el °API del crudo recuperado es 15. Se le hará un tratamiento de centrifugación así como también un tratamiento de incineración de sedimentos. Al crudo recuperado se le aplicara un castigo el cual costa de reducir precio del barril al 60% del real por las mismas razones anteriormente explicadas.

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA							
VOLUMEN DE RESIDUOS m3	°API DEL DESECHO	°API DEL CRUDO RECUPERADO	CRUDO RECUPERABLE 75% (BBL)	PRECIO CRUDO US\$/BBL	CASTIGO POR API	PRECIO CRUDO RECUPERADO (US\$/BBL)	VALOR TOTAL CRUDO RECUPERADO
10,000	10.5	15	47,175	USD\$ 75	x(60%)	USD\$ 45	USD\$ 2,122,875
COSTO POR BBL DE DESECHO A PROCESAR							
VOLUMEN DE RESIDUOS m3	COSTO POR TRATAMIENTO DE CENTRIFUGACION						COSTOS
10,000	USD\$ 140						USD\$ 1,400,000
VOLUMEN DE SEDIMENTOS m3	COSTO POR TRATAMIENTO INCINERADOR DE SEDIMENTOS						COSTOS
1,000	USD\$ 40						USD\$ 40,000
						COSTOS TOTAL DE TRATAMIENTO	USD\$ 1,440,000
						UTILIDAD BRUTA	USD\$ 682,875

En base a los 10 Mm³ de material de desecho se hizo un cuadro comparativo considerando ciertos aspectos a analizar, tal como se muestra a continuación:

Volumen (10Mm3)	Almacenamiento	“Landfarming”	Biotecnología	Tratamiento Propuesto
Costo US\$	1-3MM	1.5MM	<u>0.3</u> -1MM	1.1-2.3MM
Tiempo (Meses)	<u>1-2</u>	50	25	8-9
Área	Grande	Grande	Grande	<u>Pequeño</u>
Da una solución definitiva	No	Cuestionable	Cuestionable	<u>SI</u>

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de analizar la información y comparaciones, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- La instalación de los equipos es simple, no requiere de grandes aéreas, el tiempo de montaje es corto debido a que estos vienen en patines prefabricados con las líneas hidráulicas y eléctricas lista para ser conectadas de acuerdo a una distribución previamente establecida. Lo que favorece a la rápida movilización del equipo.
- En comparación con otras tecnologías que aparentan ser baratas, se debe tomar en cuenta el tiempo; mientras que esta tecnología procesa alrededor de 200 a 250 barriles de desecho diario y los separa en sus componentes principales, las otras tecnologías “baratas” necesitan de un tiempo prolongado en algunos casos de año y todo ese tiempo de un mantenimiento, monitoreo y supervisión, lo que incurre en gastos de equipos y personal, además extiende la presencia de la industria en zonas sensibles como sería la selva.
- Las otras tecnologías no son una solución definitiva ya que no aseguran la eliminación total del hidrocarburo en el agua y los sedimentos, o la uniformidad del tratamiento.
- En comparación a la venta del desecho como combustible, que al ser quemado generaría otro pasivo, esta tecnología le da un valor agregado al producto haciéndolo un combustible de mejor calidad y a la vez mejor cotizado.
- Un punto a favor es que este tratamiento no elimina el hidrocarburo. Como se puede observar un proyecto de remediación con esta

tecnología, podría autofinanciarse, debido a la recuperación del crudo y en el mejor de los casos podría dar una rentabilidad.

- Esta tecnología es un sistema de separación efectivo que garantiza una recuperación de crudo más allá del 99% tanto en los residuos fluidos ("slop oil") como sólidos (Borras).
- Ofrece una alta relación costo/capacidad de proceso debido a la alta eficiencia y capacidad de separación, flexibilidad en la calidad de alimentación, alta calidad en los efluentes de agua y sólidos.
- Debido a la calidad de los efluentes, esta tecnología no genera productos que necesiten tratamientos posteriores, los cuales podrían incurrir en pasivos ambientales.
- La aplicación de esta tecnología es una solución a los incumplimientos de normativas en cuestiones medioambientales que tienen las empresas petroleras.
- La aplicación de esta tecnología en una empresa petrolero (operadora), hace más factible las posibilidades de obtener certificaciones en Gestión de Calidad (ISO 9001) y Gestión Ambiental (ISO 14001). Esto a la vez permite implementar un Sistema de Gestión Integrado (SGI). La obtención de certificaciones, hace más accesibles los préstamos de capitales. Así como también una mejor imagen empresarial, comercial y social.
- Esta tecnología podría aplicarse. En refinerías, en el transporte de crudo, ya sea buques, u oleoducto, en empresas, etc. Todo sitio donde se genere este desecho.
- Dentro de todo esto, un gran "mercado" podría ser Talara, un gran proyecto sería poner un centro de acopio de borra y "slop oil" donde se procesaría este material proveniente de las empresas petroleras.

- Para finalizar se cerrará con algo acerca del concepto con que se comenzó esta tesis “Desarrollo Sostenible”. La “Filosofía de las 3R de la Sostenibilidad”:

Reducir el volumen de los residuos.

Reutilizar los materiales que aún pueden servir, en lugar de desecharlos.

Reciclar los materiales de desecho para crear material útil.

Pero estos no son las únicas actividades que componen el concepto de las 3R, actualmente también se hace referencia a otros conceptos de los cuales se podría rescatar los siguientes:

Reemplazar tecnología antigua por tecnología más limpia, efectiva y eficiente.

Recuperar materia prima siempre que sea posible.

Rechazar productos de dudosa procedencia, casos como combustibles y/o aceites.

Si el planeta se guía a través de estos conceptos, se podría mejorar o ayudar a la conservación del ambiente y a su vez del mismo.

CAPITULO VIII

BIBLIOGRAFIA

INDUSTRIAL CENTRIFUGATION TECHNOLOGY – Capitulo “Aplicaciones de Centrifugas Sedimentaras” – Autor: Wallace Woon-Fung Leung.

INGENIERIA AMBIENTAL – Capitulo “Crecimiento de la Energia” – J. Glynn Henry & Gary W. Heinke

TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS INDUSTRIALES GENERADOS EN UNA REFIENRIA – Autor: Ing. José Espinoza Eche - Ingeniero Sanitario Ambiental

IMPACTOS AMBIENTALES DEL PETROLEO – Autor: Pedro Augusto Brissio – Escuela de Salud y Ambiente, Universidad Nacional de Comahue Argentina.

Curso DESCONTAMINACION DE SUELOS – Autor: Carlos Dorronsoro Fernández - Dpto Edafología y Química Agrícola - Facultad de Ciencias. Universidad de Granada

EVALUACION, CARACTERIZACION Y TRATAMIENTO DE SUELOS Y SITIOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS – Autor Dr. Eduardo Ercoli (Argentina)

INFORME QUINCEL DE LA SNMPE – Noviembre 2004

MEMORIA ANUAL 2008 REPSOL YPF

ALFA LAVAL
www.alfalaval.com/

GEA WESTFALIA SEPARATOR
www.westfalia-separator.com/products/separators.html

DECANTERS FLOTTWEG (Mexico)
www.petroquimex.com/070807/articulos/7.pdf

ENVIRONMENTAL PERFORMANCE INDEX 2010
epi.yale.edu/

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK
www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/

CAPITULO IX

ANEXOS

ANEXO N° I:

CENTRÍFUGAS - SISTEMAS FLOTTWEG

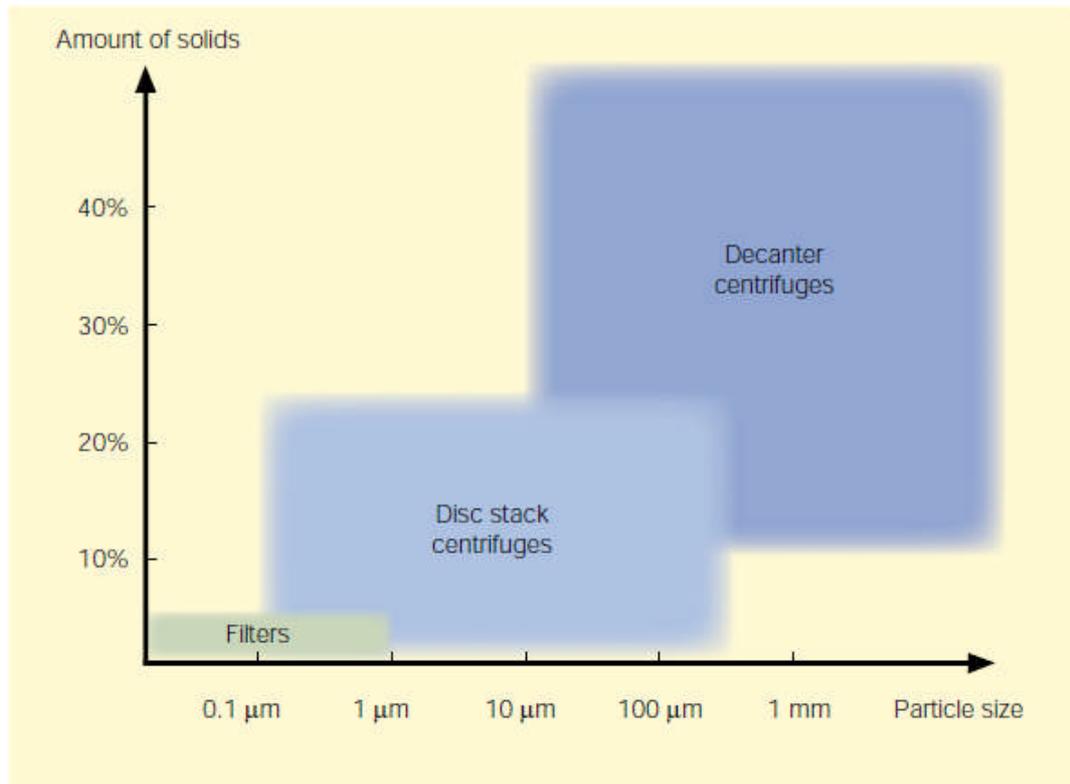
FLOTTWEG productos y aplicaciones



Operación básica	Sólido-líquido (2 fases)					Líquido-líquido (2 fases)	Líquido-líquido-sólido (3 fases)	Extracción	
	Clarificación de líquidos	Concentración de sólidos	Espesado y deshidratación de fangos	Deshidratación de sólidos granulares	Clasificación por vía húmeda			Extracción de líquidos	Extracción de sólidos
DECANTER	●	●	●	●	●				●
SEDICANTER®	●	●	●						●
TRICANTER®	●	●					●		●
SORTICANTER®					●				
CENTRÍFUGA DE DISCOS	●	●				●	●	●	
PRENSA BANDA	●	●	●	●					●

Anexo II:

ALFA LAVAL – TECNOLOGIA “DISC STACK CENTRIFUGE”



Kinds of equipment normally used for solids separation

Accelerating the process

In essence, a centrifuge is a settling tank whose base is wrapped around a centre line. Rotating this entire unit rapidly means that the effect of gravity is replaced by a controllable centrifugal force that can have an effect up to 10,000 times greater.

This force is then used to separate liquids from other liquids and solids efficiently and with great accuracy, and in a manner that is easy to control.

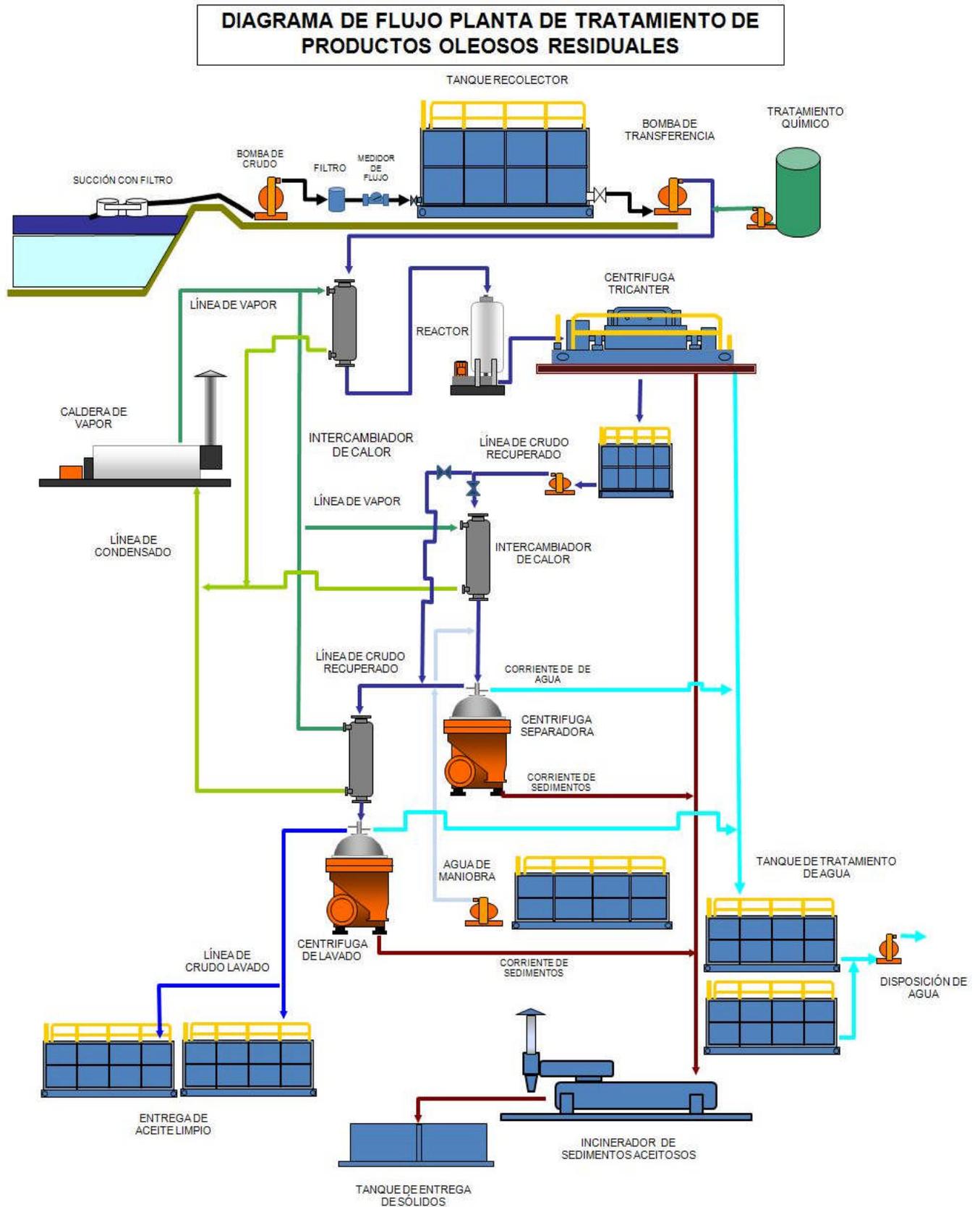
Types of centrifuge

There are several different basic types of centrifuge normally used in industrial

separation. Decanter centrifuges are generally used for greater solids concentrations with larger particle sizes. Disc stack centrifuges, on the other hand, are ideal for a wide range of separation tasks that involve lower solids concentrations and smaller particle and droplet sizes. This applies to both liquid-liquid and liquid-solid separation.

The most difficult separation tasks can often involve three phases, with hardly any difference in the density of the separate liquid phases and with the particles to be separated very small in size. In such applications, no other technology can compete with disc stack centrifuge technology.

Anexo III: DIAGRAMA DE FLUJO



Anexo IV: BALANCE DE MATERIALES

BALANCE DE MATERIALES

