



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

PARAMETROS DE DISEÑO DE UN  
SEPARADOR DE ACEITE PARA LA  
REFINERIA DE SALAMANCA, GTO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

ADELA CRUZ VILLAGOMEZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS 1979  
ABO M.T. 99  
FECHA \_\_\_\_\_  
PROC \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



**Jurado asignado:**

**Presidente:** Prof. ALEJANDRO ANAYA DURAND

**Vocal:** Prof. ANTONIO FRIAS MENDOZA

**Secretario:** Prof. ARTURO LOPEZ TORRES

**1er. Suplente:** Prof. CLAUDIO A. AGUILAR MARTINEZ

**2o. Suplente:** Prof. ENRIQUE BRAVO MEDINA

**Sitio donde se desarrolló el tema:** Refinería de Salamanca, Gto.

**Sustentante**

**Asesor del Tema**

---

Adela Cruz Villagómez

---

Ing. Antonio Frías Mendoza



FACULTAD DE QUIMICA  
DEPTO. DE PASANTES Y  
EXAMENES PROFESIONALES.

FORMA C

Universidad Nacional Autónoma de México (AUTORIZACION PARA ESCRIBIR DEFINITIVAMENTE EL TEMA REVISADO)

C. Director Gral. de Servicios Escolares  
Universidad Nacional Autónoma de México,  
Presente.

Me permito comunicar a usted, que el tema de TESIS

Titulado: "PARAMETROS DE DISEÑO DE UN SEPARADOR DE ACEITE PARA LA REFINERIA DE SALAMANCA GTO."

que presenta: LA SRITA. ADELA CRUZ VILLAGOMEZ

Pasante de la Carrera de: INGENIERO QUIMICO

Fué aceptado por el Jurado nombrado para dicho examen, el cual quedó integrado en la siguiente forma:

Presidente Prof.: ALEJANDRO ANAYA DURAND

V o c a l " : ANTONIO FRIAS MENDOZA

Secretario " : ARTURO LOPEZ TORRES

1er. Suplente " : CLAUDIO A. AGUILAR MARTINEZ

2o. Suplente " : ENRIQUE BRAVO MEDINA

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria D.F., a 11 de octubre de 1979

EL JEFE DEL DEPTO. DE PASANTES  
Y EXAMENES PROFESIONALES.

QUIM. JULIO TERAN Z.

A MIS PADRES CON CARÍÑO

ROSA VILLAGOMEZ CORONA DE CRUZ

Y

MARCOS CRUZ HERNANDEZ

A MIS HERMANOS

JORGE

MARIA ELENA

JUAN

ROBERTO

MARIA TERESA

MARIA SOLEDAD

A TODAS LAS PERSONAS QUE COLABORARON EN EL DESARROLLO DE ESTE  
TRABAJO

A LOS INGENIEROS: ANTONIO FRIAS MENDOZA, ARTURO LOPEZ TORRES Y  
EDUARDO ESCOBAR ACOSTA POR SU COLABORACION.

**CAPITULOS:**

**INTRODUCCION**

**I.- GENERALIDADES**

**II.- FUNCIONAMIENTO DE LOS SEPARADORES INSTALADOS EN "RIAMA"**

**III.- SELECCION DEL SEPARADOR Y EQUIPO AUXILIAR**

**IV.- PARAMETROS DE DISEÑO DEL SEPARADOR Y EQUIPO AUXILIAR**

**V.- ANALISIS Y BALANCE ACTUAL Y FUTURO DE CORRIENTES**

**DIAGRAMAS Y GRAFICAS**

**BIBLIOGRAFIA**

## INTRODUCCION.

La expansión industrial actual ha producido incremento en la prosperidad pero, ha creado una necesidad; preservar el medio ambiente contra el crecimiento de la contaminación. La imposición de altos cargos por las autoridades locales animaría a la industria a investigar la economía de tratamiento de las fuentes de contaminación. Este estudio ha sido encaminado a la revisión de aspectos de contaminación de aguas de desecho en refinerías, las cuales contienen principalmente: Una capa flotante de aceite y grasa, hidrocarburos disueltos y materia-sedimentable. Para la eliminación de estos contaminantes puede usarse, la separación por gravedad mediante lo cual el material más pesado que el agua se asienta y el más ligero que el agua se eleva a la superficie.

Los separadores de aceite tienen una función muy importante en los procesos de Refinación y Petroquímica como es: Separar el aceite libre, emulsiones, reactivos y sedimentos de las aguas de desecho. Evitando por una parte pérdidas de aceite, y por otra reduciendo la contaminación del receptor que generalmente son: Ríos, lagos o mares. Se han desarrollado varios tipos de separadores, los cuales son modificaciones de los convencionales (API) o diseños totalmente nuevos, encaminados a mejorar la eficiencia de separación, para que el efluente cumpla con las reglas en materia de contaminación de aguas establecidas, en la "Ley Federal para Prevenir la Contaminación Ambiental".

Actualmente la Refinería de Salamanca cuenta con dos separadores de aceite, (del tipo API) los cuales debido a su baja-eficiencia, y al aumento en volumen de las aguas de desecho, al entrar en operación las nuevas plantas: Desintegradora Catalítica, Planta de Calderas y Tratamiento de Aguas y Planta de

Amonfaco serán ineficientes para tratar dicho caudal, haciendose necesaria la adquisición de un nuevo separador, de tal manera que, el agua efluente cumpla con las reglas en materia de contaminación de aguas.

En el presente trabajo se efectuará el diseño de un nuevo separador, así como del equipo auxiliar. La selección se hará en base a eficiencia y costo.

I.- GENERALIDADES.

A) Bases Teóricas de la Separación Agua-Aceite.

Los principios básicos de separación por gravedad diferencial pueden expresarse matemáticamente y aplicarse cuantitativamente. Cuando una partícula se mueve libremente en un fluido y está sujeta a fuerzas gravitacionales, su velocidad de elevación o de asentamiento con respecto al fluido llega a ser constante cuando la resistencia al movimiento iguala al peso de la partícula en el fluido, o sea que la velocidad límite se ha alcanzado y la aceleración de la gravedad es cero. La ecuación general para esta resistencia primero propuesta por Newton es:

$$D_f = CA \left( \frac{\rho_w v^2}{2} \right) \quad (1)$$

La ecuación para el peso efectivo de la partícula es:

$$W = \left( \frac{\pi D^3}{6} \right) (\rho_w - \rho_o) g \quad (2)$$

Igualando las ecuaciones (1) y (2).

$$CA \left( \frac{\rho_w v^2}{2} \right) = \left( \frac{\pi D^3}{6} \right) (\rho_w - \rho_o) g \quad (3)$$

Para una esfera:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4)$$

Sustituyendo (4) en (3) y despejando V tenemos:

$$v = \sqrt{\left( \frac{4D}{3} \right) \left( \frac{(\rho_w - \rho_o) g}{C \rho_w} \right)} \quad (5)$$

La ecuación para la resistencia al movimiento de una pequeña partícula esférica a su velocidad límite es:

$$D_f = 3\pi\mu V D \quad (6)$$

Si  $W$  de la ecuación (2) se iguala a  $D_f$  en la ecuación (6) se obtiene otra ecuación para  $V$ . De la sustitución de  $V_r$ , la velocidad de elevación de los glóbulos de aceite (en cm/seg) -- por el término general  $V$ , resulta la conocida "Ley de Stokes", -- para la velocidad límite de esferas en un medio líquido:

$$V_r = \left( \frac{g}{18\mu} \right) (\rho_w - \rho_o) D^2 \quad (7)$$

Las ecuaciones (6) y (7) son estrictamente correctas solamente cuando el número de Reynolds de las partículas que se elevan (basado sobre el diámetro de la partícula) es menor de -- 0.5, como quiera, la desviación de la ley de Stokes es despreciable para propósitos de diseño.

#### B) Tipos de Separadores y su Descripción.

La separación por gravedad es un proceso simple usado ampliamente en el tratamiento de agua residual. Este método permite que el material disperso se separe y así pueda ser removido del efluente. Cuando la densidad de una partícula es mayor que la del líquido transporte, ocurre la sedimentación; y en caso -- de que la densidad sea menor ocurrirá la flotación, entonces -- las fases se separan y puede desnatarse de la superficie del líquido. Generalmente esta separación se efectúa en tanques o estanques, según la cantidad de agua que se necesite tratar. Esta necesidad ha aumentado como resultado de la expansión industrial. Por consiguiente se han desarrollado tres tipos de separadores:

## I.- Separadores API.

Los separadores API tipo gravedad, se utilizan para remover principalmente aceite y sólidos sedimentables de las aguas de desecho de una Refinería. El diseño y tamaño depende de -- las características y volumen del agua, de la densidad y tamaño de las partículas de aceite, así como de la cantidad y características de la materia suspendida. Por otra parte la eficiencia de diseño de este tipo de separadores, no permite lograr el contenido de aceite establecido en las reglamentaciones que aparecen en la literatura para control y prevención de contaminación de aguas.

Los separadores API pueden ser circulares o rectangulares y están provistos de: Baffles de retención, de rastras para jalar el aceite hacia los desnatadores, tubos desnatadores donde se recibe el aceite de la superficie del separador y pasa a un cárcamo de donde se bombea a almacenamiento, de válvulas que permiten el flujo de un paso a otro, bombas para: Aceite recuperado, agua y para los lodos depositados en el fondo del separador.

El material preferido para la construcción es concreto reforzado, pueden ser también de acero, esto dependerá del agua-residual.

Desventajas: Una de las principales desventajas de este tipo de separadores es su baja eficiencia además de su gran tamaño.

Ventajas: No tienen partes móviles y son de mantenimiento fácil.

## 2.- Separadores de Placas Paralelas.

Con el afán de reducir cada vez más la concentración de aceite en los efluentes, se han desarrollado varios sistemas, de los cuales unos han efectuado mejoras a los separadores convencionales y otros son diseños totalmente nuevos basados en el mismo principio de operación. Una de las mejoras hechas al

separador convencional consiste en la instalación de placas -- paralelas a lo largo de la cámara de separación, en dirección del flujo e inclinadas a un cierto ángulo de la horizontal.

Durante el flujo a través de las placas, los glóbulos de aceite se elevan y se colectan en la cara inferior del plato y forman una película de aceite. El aceite así colectado se desliza hacia arriba a través de las ranuras entre los bordes de las placas y las paredes del separador y colectado bajo la cubierta. Los sólidos se depositan por encima de las placas y se deslizan por los canales de sedimentación hacia el fondo -- del separador.

El principio de este sistema consiste en acortar la distancia de ascenso de las partículas de aceite, lo que implica una reducción en el tamaño del separador y una alta eficiencia en la remoción de aceite. Estas unidades de placas paralelas tienen la ventaja de que pueden instalarse en separadores API-convencionales existentes, además que no producen emisiones de hidrocarburos porque el aceite separado del agua está siempre cubierto y producen efluentes de aproximadamente 25 ppm con un tamaño cuatro veces menor que el separador API.

### 3.- Separadores de Placas Corrugadas.

Posteriormente en base a la experiencia obtenida con la modificación a los separadores convencionales (API), al adaptarles placas paralelas con el objeto de acortar la distancia de ascenso de las partículas de aceite, se desarrolló un nuevo sistema a base de placas corrugadas. El interceptor de placas corrugadas se coloca con cierto ángulo de inclinación en dirección del flujo, guardando una distancia corta entre las placas. Este sistema permite separar partículas cuya velocidad de ascenso o sedimentación sea inferior a 0.2 mm/seg, proporcionando efluentes hasta de 20 ppm de aceite. En este tipo de separadores se combinan los procesos de separación por gravedad y acción coalescente. Se han patentado diferentes tipos

de placas corrugadas con ligeras variantes: La ventaja de estos separadores sobre los de placas paralelas es que por las ranuras se facilita el flujo de lodos y aceite además de que se incrementa el área de separación.

### 3.1.- Placas Corrugadas Patentadas por la General Electric.

Estas placas estan ensambladas en módulos y proporcionan un ambiente óptimo para la separación de aceite. Las gotas de aceite se elevan verticalmente una corta distancia antes de ser capturadas y combinadas con otras gotas sobre la superficie de las placas y viajan hacia arriba a través de las perforaciones en los platos a la superficie, donde se remueve el aceite por desnatadores ajustables. Los sólidos pesados se depositan antes de que el agua aceitosa entre al área de las placas. Estas placas están ensambladas en módulos de 12 in. de ancho por 23 in. de longitud y a la altura requerida, pueden instalarse en separadores ya existentes o en unidades nuevas. Este tipo de separadores admiten solamente flujos pequeños con bajo contenido de sólidos, puesto que sus placas no están inclinadas, con un alto contenido de sólidos se atascarían.

### 3.2.- Placas Corrugadas Patentadas por Heil Process Equipment Company.

Cuando el agua residual entra al separador de placas corrugadas (CPI) vía el compartimiento "A", (ver fig. 4) su velocidad disminuye a menos de un pie por segundo. Esto permite que los sólidos gruesos se asienten en el área de almacenamiento de arena, también permite que los glóbulos grandes de aceite brinquen a la superficie. Este efluente entra al compartimiento "B". Después pasa a través de un baffle distribuidor de flujo con ranuras verticales, el agua residual fluye hacia el interceptor de placas corrugadas, (CPI) paquete de placas en el cual los glóbulos finos de aceite y los lodos son separados del agua residual. El agua limpia fluye hacia el comparti

miento "C" y sale por el derrame ajustable. El compartimiento del separador esta provisto de un tubo desnatador de aceite o un vertedero, cuya altura es ajustable para balancear las cargas hidráulicas, de tal manera que solo el aceite sea desnatado de la superficie no así el agua. Manteniendose en el interceptor una capa de aceite. El aceite se descarga automáticamente en el desnatador debido a la diferencia en gravedad específica entre el agua y el aceite.

El corazón del separador de placas corrugadas es el paquete de placas (CPI). El paquete estándar consiste de 47 placas corrugadas en paralelo a intervalo de 3/4 de pulgada. Las dimensiones totales de este paquete son: 38 pulgadas de altura, 42 pulgadas de ancho y 69 pulgadas de longitud. Este paquete tiene un área proyectada horizontalmente de aproximadamente 550 ft<sup>2</sup>. El paquete se instala en el tanque de tal manera que las placas formen un ángulo de 45° con la horizontal, en la dirección del agua residual. Antes de que el agua aceitosa entre al paquete de placas su velocidad ha sido previamente disminuída en el canal de entrada, donde los sólidos gruesos y el aceite fueron removidos. Antes de que el flujo pase por el paquete de placas es distribuido por el baffle distribuidor de flujo.

Cuando la corriente residual pasa a través del paquete su flujo laminar se mantiene. Así, bajo condiciones ideales el aceite se eleva por gravedad al lado inferior de la placa siguiente, (hacia arriba) entonces por gravedad emigra al pico de la corruga y viaja hacia la entrada del paquete de placas en contracorriente al flujo de agua. Los lodos se sedimentan en la superficie de la siguiente placa, (hacia abajo) y se colectan en los valles de las corrugas, deslizandose por gravedad hacia la salida al fondo de la unidad en dirección del flujo de agua residual. Los picos a la entrada de las placas estan conectadas por canales o elevadores los cuales guían el aceite colectado fuera del área de flujo del agua de desecho.

Del mismo tipo de canales verticales están provistos los va---lles a la salida del paquete de placas para el manejo de los lodos. El uso de estos canales evita la reentrada de aceite o lodo en las otras placas donde tendrían que ser nuevamente separados.

De lo expuesto anteriormente se observa que el mejor tipo de separador es el de placas corrugadas de Heil Process Equipment Company puesto que son más eficientes y se adaptan mejor a las condiciones de flujo, además de que son de mantenimiento fácil.

### C) Bases de Diseño del Separador y Equipo Auxiliar.

El separador se diseñará para una capacidad total de -- 3000 GPM y un contenido mínimo de aceite en el efluente, --- (25 ppm.). La alimentación será por gravedad, por tanto el se parador estará bajo el nivel del piso.

#### 1.- Especificaciones de la Alimentación.

Aceite 5.9 % en volumen  
Lodos sedimentables 3.3 ml/l  
Gravedad específica 0.992  
Viscosidad 0.65 centipoise  
Temperatura 30°C

#### 2.- Almacenamiento.

Se tendrán tanques de almacenamiento de aceite recuperado provistos de serpentín de calentamiento.

#### 3.- Servicios Auxiliares.

Se dispone de vapor de 18 Kg/cm<sup>2</sup>, (man.) a una temperatura de 290°C (sobrecalentado).

#### 4.- Sistema de Contra Incendio.

El separador debe estar provisto de red contra incendio, así como los tanques de almacenamiento de cámaras de espuma.

#### 5.- Bases de Diseño de Equipo.

Las bombas serán accionadas por motor eléctrico, el cambiador de calor tendrá un factor de incrustación para el aceite de 0.003.

#### D) Orígen de las Corrientes.

En los procesos de refinación del petróleo y petroquímica los volúmenes contaminantes y características de las aguas de desecho difieren considerablemente. A continuación se citarán las diferentes fuentes de emanación de residuos, en orden de importancia.

#### I.- Tanques de Almacenamiento de Crudo y Productos.

El almacenamiento de crudo se hace para suministrar una alimentación adecuada a las columnas de fraccionación primaria. Los productos intermedios se almacenan para equilibrar los flujos internos y los productos finales o terminados para mezclas y distribución según su demanda.

Carga: Crudo y productos refinados.

Productos: Crudo y productos refinados.

Descripción del proceso: El crudo y los productos intermedios y terminados se almacenan en tanques de acero, que abarcan en tamaño desde pocos miles de barriles a más de cien mil barriles. Generalmente se operan a un período de retención suficiente para permitir el asentamiento de agua y sólidos suspendidos.

**Residuos:** Los residuos asociados al almacenamiento de crudo y productos están principalmente en forma de aceite libre y emulsionado, así como de sólidos suspendidos. Acumulándose el agua bajo el aceite y los sólidos formando un lodo en el fondo del tanque. El residuo que se purga de los tanques tiene alta Demanda Química de Oxígeno (COD) y contiene una menor Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD). Los lodos del fondo son removidos a intervalos menos frecuentes. Las cantidades adicionales de residuos resultan de fugas, derrames y limpieza de tanques.

## 2.- Desaladoras de Crudo.

En el desalado de crudo se remueven sales inorgánicas y ciertos sólidos suspendidos; para reducir taponamientos en el equipo, formación de coque en los hornos y corrosión. El desalado también remueve Arsénico y otras impurezas, las cuales actúan como venenos para los catalizadores de Cracking Catalítico.

**Carga:** Crudo.

**Productos:** Crudo, al cual se le ha removido agua y sólidos con taminantes tales como; cloruros, sulfatos, bicarbonatos y sílice, el arsénico también se reduce considerablemente.

**Descripción del proceso:** El equipo común a todos los tipos de desalado son un emulsificador y tanques de almacenamiento, las sales pueden separarse del crudo por lavados con agua en presencia de un reactivo químico, de acuerdo al tipo de sales presentes y a la naturaleza del crudo. En el desalado químico se adiciona el reactivo y agua, mezclándose con el crudo a formar una emulsión. La emulsión se calienta a 150-350°F y se retiene en un tanque de asentamiento por 20 a 60 minutos. Las sales y otras impurezas se disuelven en las gotas de agua. El crudo desalado se drena por el domo del tanque de asentamiento.

El método de desalado eléctrico difiere del químico en -- que, el reactivo desemulsionante se adiciona solamente cuando el crudo tiene muy alta concentración de sólidos suspendidos. Normalmente el crudo se mezcla con agua limpia para formar una emulsión. El agua, la cual contiene muchas de las impurezas -- es separada del aceite en un tanque de asentamiento bajo la influencia de un campo electrostático de alto voltaje, el cual -- agrupa las gotas de agua y las acumula en el fondo del tanque. El agua con las impurezas se descarga al sistema de aguas residuales. Y el crudo desalado fluye del domo del tanque listo -- para el tratamiento siguiente.

Residuos: Aceite libre y emulsionado, amoníaco, fenol y -- sólidos suspendidos. El amoníaco es agregado en muchas refinerías para reducir la corrosión. Estos contaminantes producen alta BOD y COD, también es un problema de contaminación térmica, puesto que el agua de las desaladoras a menudo excede los 200<sup>o</sup>F.

### 3.- Fraccionación de Crudo.

Es un proceso de refinación básico para la separación de -- crudo en fracciones intermedias de rangos de puntos de ebullición especificados.

Carga: Crudo (desalado).

Productos: Un rango completo de fracciones que incluye: Gas, -- gasolina, nafta, kerosina, diesel, cortes para Cracking, corte básico para aceites lubricantes, asfalto y corte básico para -- parafinas.

Descripción del proceso: Los cortes hechos y el tipo de -- destilación, depende del tipo de crudo que está siendo procesado y de los productos deseados. Un tipo de destilación de --- tres pasos es el siguiente:

- a) Una destilación atmosférica, la cual produce los cortes ligeros.
- b) Destilación inicial a vacío, la cual produce un corte base para lubricantes y un residuo grande para desasfaltar con propano.
- c) Una segunda destilación a vacío, diseñada para alto vacío, la cual fracciona el residuo atmosférico no adecuado para obtener lubricantes, más el residuo de la destilación inicial a vacío no enviado a desasfaltizar. En esta etapa se remueve un corte de Cracking catalítico y un corte ligero para estabilizar la gasolina primaria.

El crudo se calienta en un intercambiador de calor, entonces - el efluente de vapor y líquido fluye hacia la torre de fracción atmosférica, donde se separa en la parte superior la gasolina, y cuatro cortes laterales: Nafta, kerosina, diesel ligero y diesel pesado.

Parte del residuo del fondo de la torre atmosférica se calienta y bombea hacia la torre de vacío; donde se obtienen: Gasoleo, tres cortes laterales para lubricantes y un residuo del cual una parte va a la desasfaltizadora. El resto del residuo más el sobrante de la destilación atmosférica se pasan a fraccionación al alto vacío, el destilado se condensa en dos secciones y separado en dos cortes laterales, combinando los dos para obtener el corte de Cracking catalítico. Un corte base de asfalto se separa del fondo de la torre.

Residuos: Los residuos en la fraccionación de crudo generalmente provienen de tres fuentes. Agua drenada de los acumuladores, previos a la recirculación o transferencia de los hidrocarburos a otro fraccionador. Esta agua tiene como contaminantes principalmente sulfuros y cantidades considerables de cloruros, aceite, mercaptanos y fenoles. Otra de las fuentes de residuos son las líneas de muestreo de crudo. La tercera fuente es el aceite emulsionado en los condensadores barométricos

cos usados para crear la presión reducida en las unidades de destilación a vacío. Cuando se reemplazan los condensadores barométricos por condensadores de superficie, los vapores de aceite no llegan a estar en contacto con el agua, evitandose la formación de emulsiones.

#### 4.- Cracking Térmico.

El término "Cracking térmico" se usa para definir un proceso, donde un aceite pesado se rompe en fracciones más ligeras por aplicación de calor y presión, pero sin usar catalizador. Hay poca producción de gasolina, pero más cortes intermedios y combustibles estables.

Carga: Crudo reducido, asfalto y crudo no fraccionado.

Productos: Coque, aceites combustibles, gasoleo, nafta, gasolina y gases.

Descripción del proceso: La alimentación se calienta a la temperatura de Cracking en un quemador. Los enlaces de las moléculas grandes se rompen y bajo ciertas condiciones algunas de las moléculas resultantes pueden recombinarse dando moléculas más grandes que las de la alimentación. Los productos de esta reacción secundaria pueden nuevamente descomponerse en moléculas pequeñas, dependiendo del tiempo de permanencia a la temperatura de Cracking. Los productos del Cracking se pasan a un fraccionador para su separación.

Residuos: La fuente principal de residuos, en el Cracking térmico es en el acumulador del fraccionador donde el agua se separa del vapor de hidrocarburos y se envía al sistema de aguas de desecho. Esta agua usualmente contiene de los aceites fraccionados; puede tener alta BOD, COD, amoníaco, fenol y sulfuros. El residuo puede tener alta alcalinidad.

#### 5.- Cracking Catalítico.

Para aumentar el rendimiento y calidad de las gasolinas y otros productos deseados, minimizando el rendimiento de combustibles residuales.

Carga: Nafta, gasoleo, aceite desasfaltado y aceite no fraccionado.

Productos: Gasolina de alto octanaje, diesel, aceite combustible, olefinas, isobutano y gas seco.

Descripción del proceso: Las partes principales de una unidad de Cracking catalítico son: Reactor, regenerador y fraccionador. Practicamente es lo mismo que el Cracking térmico, solo que el uso de un catalizador permite efectuar el proceso a temperatura y presión más bajas, obteniéndose así mayor rendimiento de gasolina de alto octanaje. El proceso involucra cuando menos las siguientes reacciones:

- a) Descomposición térmica.
- b) Reacción catalítica primaria en la superficie del catalizador.
- c) Reacción catalítica secundaria entre los productos primarios.
- d) Remoción de productos polimerizables, por absorción sobre la superficie de un catalizador como coque. Esta reacción es clave en el Cracking catalítico, porque permite reacciones de descomposición.

El catalizador de Cracking incluye sílica-alúmina sintética y natural, bentonita tratada, tierra fuller, hidrosilicato de aluminio y bauxita. Estos catalizadores estan en la forma de lechos, pelotas y polvo, son usados en lechos fijos, móviles o en lechos fluidizados. El catalizador fluidizado se encuentra en forma de polvo fino, el cual tiene características físicas esenciales de un fluido y es transferido como tal.

El catalizador finamente pulverizado es elevado en el reactor por el aceite alimentado, el cual inmediatamente se vaporiza al ponerse en contacto con el catalizador caliente. El vapor pasa hacia un separador ciclónico, el cual remueve el catalizador de entrada. A continuación los vapores pasan a una torre fraccionadora donde se separan los productos deseados y las fracciones más pesadas se recirculan al reactor. El catalizador pasa hacia un agotador de vapor y a continuación hacia el regenerador donde se quema el material depositado.

Residuos: El agua contaminada proviene principalmente de los agotadores de vapor y de los acumuladores de las columnas de fraccionación. Este residuo contiene como impurezas principalmente: Aceite, sulfuros, fenoles y amoníaco, estos contaminantes producen agua alcalina con alta concentración de BOD y COD. La concentración de sulfuros y fenoles depende del tipo de crudo que se procese.

#### 6.- Hidrocracking.

Es la conversión de los cortes de hidrocarburo, incluyendo gasoleos y residuos en gasolinas, destilados intermedios y LPG.

Carga: Un amplio rango incluyendo gasoleo, crudo pesado y residuo atmosférico y de vacío.

Productos: Gasolina, isoparafinas de alto octano y diesel, los productos finales del hidrocracking no tienen que ser endulzados, puesto que están libres de compuestos de azufre.

Descripción del proceso: La hidrodésintegración es básicamente catalítica, en presencia de hidrógeno. Debido a la presencia de hidrógeno las olefinas formadas son saturadas, antes de que puedan contribuir a la formación de coque. El rango de temperatura del hidrocracking (400-800 °F), es más bajo que-

para el cracking catalítico, mientras que las presiones para el hidrocracking son mayores (100 a 2000 psig). Las condiciones de operación y la cantidad de hidrógeno requerida depende de la naturaleza de la alimentación y del grado de hidrogenación requerido. El efluente del reactor pasa a un separador, estabilizador y a un fraccionador, el hidrógeno se recircula del separador al reactor.

**Residuos:** El residuo tiene un alto contenido de sulfuros puesto que el azufre se reduce, algo del ácido sulfhídrico se encuentra en los productos gaseosos, los cuales se envían a una unidad de tratamiento para remover, y/o recuperar el azufre.

#### 7.- Refinación con Solvente.

La refinación con solvente, se refiere a métodos usados para obtener lubricantes y/o aromáticos de cortes que contienen mezclas de hidrocarburos y material indeseable, tal como; ácidos, azufre, compuestos organometálicos, naftenos y/o compuestos de nitrógeno.

**Carga:** Una amplia variedad de cortes puede usarse incluyendo crudo reducido, aceites desasfaltados y naftas. El corte alimentado depende del subproceso y producto deseado.

**Productos:** Aceites refinados, compuestos de alto octanaje y aromáticos de alta pureza.

**Descripción del proceso:** La mezcla de hidrocarburos se separa en base a sus solubilidades relativas, sin considerar su volatilidad. La naturaleza del solvente y producto deseado gobiernan la naturaleza de cada subproceso, hay varias operaciones generales comunes a muchos de ellos.

- a) Secado y/o deaireación de la alimentación.
- b) Extracción usando solvente a contracorriente.

- c) Separación del solvente por calentamiento y fraccionación o evaporación.
- d) Eliminación de trazas de solvente por agotamiento con vapor
- e) Purificación del solvente.

El equipo requerido para estas operaciones incluye torre - de extracción, fraccionadores, tanques de asentamiento y condensadores.

Residuos: Aceite y solvente usado en el proceso. Bajo condiciones ideales, el solvente se recircula continuamente con poca pérdida.

#### 8.- Desparafinación.

Separación de parafinas de aceites lubricantes, para producir lubricantes con bajo punto de escurrimiento y recobrar parafinas.

Carga: Cualquier corte destilado o residuo decarbonizado.

Productos: Aceites desparafinados con bajo punto de escurrimiento y macrocristales de parafina.

Descripción del proceso: En la desparafinación con solvente, el más usado es metil etil cetona (MEK), el equipo principal para este proceso es:

- a) Calentadores de expansión directa de amoníaco.
- b) Cambiadores de doble tubo con rasoadores.
- c) Filtros continuos de desparafinación.
- d) Sistema de recuperación de producto.
- e) Separación de solvente-agua y sistema de recuperación.

El solvente se introduce en la corriente de destilado parafinoso en sitios selectivos en el ciclo de enfriamiento para asegurar la estructura del cristal de parafina y la viscosidad - del líquido conveniente para la filtración. La mezcla fría fluye del enfriador de doble tubo a través de un filtro, hacia un-

tanque de alimentación a un filtro a vacío del tipo de tambor cerrado. La parafina depositada sobre el filtro se lava continuamente con solvente frío para obtener una parafina con bajo contenido de aceite. El filtrado se bombea a un cambiador de doble tubo, para evaporar y recobrar el solvente.

Residuos: La metil etil cetona produce una alta BOD al agua de desecho.

#### 9.- Hidrotratamiento.

El hidrotratamiento se emplea para saturar olefinas, para remover compuestos de azufre, nitrógeno y oxígeno de fracciones del petróleo Crackeados.

Carga: Practicamente cualquier fracción de crudo desde naftas, parafinas y lubricantes.

Productos: Compuestos estables de bajo contenido de azufre, nitrógeno y olefinas.

Descripción del proceso: La diferencia principal entre los diferentes procesos alternativos es el catalizador empleado. El proceso más ampliamente usado es el "Unifining", el cual se diseña para: (a) Pretratamiento de reformación catalítica del corte alimentado, (b) Mejorar olor, color, gomas y estabilidad de almacenamiento, (c) Mejorar propiedades de combustión, número de cetano del diesel y susceptibilidad al tetraetilo de plomo de gasolinas, (d) Pretratamiento de Cracking catalítico del corte alimentado. El equipo principal es: Reactor y fraccionador. La alimentación se combina con el hidrógeno recirculado, se calienta a la temperatura de reacción y se carga al reactor. -- Los productos del reactor se enfrían y entran a un separador de hidrógeno, recirculando el hidrógeno. El fondo del separador -- fluye hacia un separador a baja presión, donde se remueven los gases adicionales y después pasan a un fraccionador para sepa--

rar nafta ligera y sulfuro de hidrógeno, Las variables que afectan el hidrot ratamiento son: La presión parcial del hidrógeno, temperatura del proceso y tiempo de contacto. Un aumento de la presión parcial del hidrógeno favorece una mayor eliminación de compuestos no deseables y una mayor proporción de hidrogenación, los requerimientos de hidrógeno son altos. Un aumento excesivo de temperatura aumenta la formación de coque y el tiempo de contacto es tal que da un tratamiento adecuado sin exceder el uso de hidrógeno y/o exceder la formación de coque. Para los varios procesos de hidrot ratamiento la presión va de 100 a 3000 psig. y la temperatura de 350<sup>o</sup> a 850<sup>o</sup>F, (generalmente un rango de --- 600-800<sup>o</sup>F). El consumo de hidrógeno es usualmente del orden de 200 scf / barril de carga. El hidrot ratamiento reduce el contenido de azufre en un 80-95%, (en promedio 90%). El nitrógeno requiere condiciones más severas, pero reducciones de 80-90% son factibles.

Residuos: La cantidad de residuos depende del subproceso usado y del corte que se este hidrot ratando. La corriente residual llega de los acumuladores, de los fraccionadores y de los agotadores. Los contaminantes principales son: Sulfuros, amoníaco y fenoles pueden estar presentes si el rango de ebullición de la alimentación es alto.

#### 10.- Desasfaltado.

En la desasfaltación con propano se separan asfaltos o resinas de hidrocarburos viscosos; puede modificarse para segregar fracciones pesadas o medias por extracción con propano. Otro proceso como es la decarbonización con solvente recupera cortes parafínicos para Cracking catalítico de residuos de destilación, así aumenta los rendimientos de productos ligeros a expensas de combustible pesado.

Carga; Residuo atmosférico o de vacío.

**Productos:** Aceite desasfaltizado o decarbonizado y asfalto.

**Descripción del proceso:** El equipo principal es una torre atmosférica de desasfaltado y un agotador. El residuo de vacío y propano líquido se bombean a la torre desasfaltadora (extracción), a una proporción y temperatura controladas, produciendo una solución de aceite desasfaltado y un producto de fondo (asfalto), por separación basada en diferentes solubilidades en propano. Ambos productos son procesados separadamente. El producto ligero se pasa a un evaporador de propano y el de fondo (asfalto), hacia un tanque Flash para eliminar el propano. El propano de ambos pasos se recircula, las dos corrientes se agotan a vacío para completa remoción de propano y de otras impurezas .

**Residuos:** No se tienen datos específicos sobre la descarga de residuos de las desasfaltadoras, el agua de los condensadores probablemente contenga pequeñas cantidades de sulfuros, aceites y amoníaco. Contendrá asfalto cuando ocurran derrames.

#### 11.- Secado y Endulzamiento.

Para remover compuestos de azufre, incluyendo ácido sulfhídrico y mercaptanos; mejorar color, olor, estabilidad a la oxidación y respuesta a los inhibidores. En algunos de los subprocesos también se remueven agua, dióxido de carbono y otras impurezas .

**Carga:** Unos subprocesos tratan gases ácidos, otros destilados líquidos incluyendo gasolina, nafta, kerosina y aceites domésticos.

**Productos:** Hidrocarburos de bajo contenido de azufre, agua y otras impurezas.

**Descripción del proceso:** El método usado en secado y endulzamiento varía con cada subproceso particular. "Endulzamiento--

to", equivale a la eliminación de ácido sulfhídrico, mercaptanos y azufre elemental de hidrocarburos. Estos compuestos imparten un olor fétido y los mercaptanos disminuyen seriamente el índice de octano de gasolinas por reducción de la susceptibilidad al tetraetilo de plomo. El azufre elemental en presencia de mercaptanos causa corrosión. Hay tres métodos principales de endulzamiento: (a) Oxidación de mercaptanos a disulfuros; (b) Eliminación de mercaptanos; (c) Destrucción y eliminación de otros compuestos de azufre. Los mercaptanos son disueltos y extraídos con un solvente o por adsorción sobre arcilla, otros procesos usan promotores de solubilidad y sosa caústica. Las soluciones de lavado se regeneran por calentamiento. Los procesos Girbotol y Glycol-Amina, se emplean en el tratamiento de gases amargos.- Ambos procesos usan soluciones acuosas de etanolaminas para agotar los gases amargos en un absorbedor.

Residuos: El residuo más común es sosa agotada, que se caracteriza como fenólica o sulfúrica dependiendo del que esté en mayor concentración. La sosa fenólica contiene: Fenoles, cresoles, xilenol, compuestos de azufre y algunos aceites neutros. - La sosa sulfúrica es rica en sulfuros y alta BOD y COD.

## 12.- Manufacturas de Parafinas

Para la producción de parafinas de bajo contenido de aceites.

Carga: Cortes parafinosos de alto contenido de aceite, directamente de fracciones de crudo y/o parafinas de desperafinado de aceites lubricantes.

Productos: Parafinas y microcristales de parafina bajo contenido de aceite, alto punto de fusión y otras propiedades características de parafinas de alta calidad.

Descripción del proceso: Los pasos de los procesos de frac-

cionación de parafinas y manufactura de parafinas, MIBK son similares entre sí y a la desperafinación con MEK. Cada uno de los cuales usan enfriadores de doble tubo con raspadores y filtros rotatorios a vacío primarios y secundarios.

El método más común de terminado de parafinas es la fraccionación de parafinas, en el cual una mezcla de parafina con una determinada cantidad de solvente se enfría en el enfriador de doble tubo a una temperatura que permita obtener aceite desperafinado con un punto de escurrimiento determinado. La mezcla se filtra reteniéndose la parafina en el filtro lavandola con solvente frío, la parafina se esta removiendo continuamente del filtro y se calienta hasta que se disuelve totalmente en el solvente. Se agrega más solvente caliente y se mezcla, se enfría en un equipo de doble tubo con raspador a una temperatura conveniente para la cristalización de las fracciones de parafina deseadas.

La parafina recristalizada es entonces separada por medio de un segundo filtro, sobre el cual la parafina recibe un lavado final. La parafina de este filtro se bombea a un sistema para recobrar solvente. Esta parafina puede pasar a una unidad de hidrotratamiento como paso final. El filtrado recuperado en el segundo filtro contiene aceite y fracciones indeseables de parafina soluble, se envía al sistema de recuperación de solvente del cual la parafina "suave" se envía a tanques de almacenamiento.

Residuos: Parafinas, solvente y aceite entran al sistema de aguas residuales.

### 13.- Terminado de Lubricantes.

Para la producción de aceites para motores y otros lubricantes,

Carga: Fracciones del petróleo en el rango de aceites lubrican-

tes que han sido extraídos con solvente.

**Productos:** Lubricantes terminados, caracterizados por excelente olor y color, listos para mezclarse.

**Descripción del proceso:** Aunque el tratamiento con el solvente elimina materias dañinas al aceite, es usualmente necesario refinar el lubricante mediante un tratamiento con arcilla - y a veces con ácido, además o en lugar del tratamiento con solvente con ácido o con arcilla muchos lubricantes se tratan en unidades de secado y endulzamiento o de hidrotretamiento.

Los tratamientos con arcilla y ácido se usan generalmente para mejorar el color de los lubricantes. Después del tratamiento con ácido los lubricantes deben neutralizarse. La neutralización usualmente se efectúa por filtración a contacto, la cual - además de neutralizar decolora al aceite. En la filtración por contacto continuo la arcilla adsorbente se adiciona a la carga de aceite y el slurry entra a un calentador a una temperatura - determinada, después pasa a una torre agotadora donde se inyecta vapor para facilitar la operación. El slurry se drena continuamente a un filtro a vacío para suministrar un control adicional al producto.

La filtración por percolación consiste en una filtración - del aceite a través de tierra fuller, bauxita activada u otra - arcilla. Cuando el filtrado ya no alcanza las especificaciones del producto, el flujo de aceite se para, el lecho se lava con nafta y la tierra se transfiere a un horno donde los depósitos carbonosos del aceite y las impurezas se queman, recirculando - la tierra al filtro.

**Residuos:** El tratamiento con ácido de aceites lubricantes produce residuos ácidos, lodos y descargas de muestreadores, derrames y fugas. Los residuos también tienen alta concentración de sólidos disueltos y suspendidos, sulfatos, sulfonatos y emulsiones aceitosas estables. Este es un residuo muy difícil de -- tratar. El manejo de lodos ácidos puede crear problemas adicio-

nales, algunas refinerías queman los lodos como combustible, lo cual produce grandes volúmenes de dióxido de azufre que pueden causar problemas de contaminación de aire. Otras refinerías neutralizan los lodos con residuos alcalinos y lo descargan el sistema de residuos, resultando contaminación con materias orgánicas e inorgánicas. El mejor método es probablemente procesar para recobrar el ácido sulfúrico, pero de esto puede producir corrientes acuosas conteniendo ácido, compuestos de azufre y aceite emulsionado.

El tratamiento con arcilla produce poca cantidad de agua residual conteniendo arcilla, aceite libre y emulsionado. La operación de recuperar la arcilla en hornos involucra un problema potencial de contaminación del aire por hidrocarburos y emisión de partículas.

#### 14.- Mezclado y Envasado.

El mezclado se emplea para productos del petróleo terminados para encontrar las especificaciones requeridas al menor costo posible. El envasado coloca el producto terminado en recipientes, los cuales requieren la industria, revendedores y consumidores.

**Carga:** Varios productos refinados y aditivos para mejorar la calidad de los productos.

**Productos:** Todos los productos de la refinación del petróleo.

**Descripción del proceso:** La gasolina terminada para motores y aviación son mezclas de gasolina primaria y crackeada reformada y de otros componentes. El porcentaje de cada una varía con la calidad requerida de la gasolina terminada. Los aditivos son también mezclados para mejorar el combustible. El aditivo más común agregado a gasolinas es el tetraetilo de plomo, el cual se adiciona para aumentar la resistencia de la máquina al golpeteo. Otros aditivos son anticorrosivos, antioxidantes y compuestos anticongelantes

Diesel, aceites lubricantes, parafinas y asfalto son otros productos principales que son mezclados de varias corrientes refinadas y aditivos.

El envasado consiste en colocar grandes volúmenes de producto en depósitos que puedan ser usados por la industria, vendedores al mayoreo y menudeo así como consumidores individuales.

Residuos: Son procesos relativamente limpios ya que se evita la pérdida de productos por derrames. La fuente principal de residuos proviene del lavado de tanques y carros tanque para --cargar productos terminados. Estas aguas de lavado tienen alto contenido de aceite emulsionado.

El tetraetilo de plomo es el principal aditivo mezclado en gasolinas y debe ser cuidadosamente manejado por su alto grado de toxicidad. Los lodos de los tanques de almacenamiento de gasolinas, pueden contener grandes cantidades de plomo y no deben ser vertidas sus aguas de lavado hacia los sistemas de aguas de desecho.

#### 15.- Producción de Hidrógeno.

Proceso para la obtención del hidrógeno necesario para las operaciones de refinación tales como: Hidrotratamientos e hidrocracking, el hidrógeno es también fuente de alimentación para - la producción de amoníaco o metanol.

Carga: Gas natural, gas refinado, propano, butano, etc. Para el proceso de oxidación parcial puede usarse aceite pesado.

Productos: Hidrógeno de alta pureza. Un análisis típico del prooceso de reformación con vapor da: 98% de hidrógeno con menos de 10 ppm. de dióxido de carbono.

Descripción del proceso: El subproceso más ampliamente usaodo es reformación con vapor, el cual utiliza gases refinados como carga. La carga se purifica eliminando compuestos de azufre-

que pueden desactivar el catalizador.

El corte desulfurizado se mezcla con vapor sobrecalentado y se cargan al horno, el cual consiste de un cambiador vertical de combustión con tubos suspendidos, de aleación conteniendo un catalizador de níquel. Sobre el catalizador los hidrocarburos se convierten a hidrógeno monóxido y dióxido de carbono. El horno suministra el calor necesario para mantener la temperatura de reacción. Los gases del horno se enfrían adicionando condensado y vapor, se hacen pasar a través de un convertidor a alta o baja temperatura y catalizador dependiendo del grado de conversión de monóxido de carbono deseado. El dióxido de carbono y el hidrógeno son producidos por la reacción del monóxido de carbono con vapor.

La mezcla gaseosa del convertidor se enfría y pasa a un sistema purificador de hidrógeno, donde el dióxido de carbono se remueve por el proceso Girbotol. El dióxido de carbono se absorbe en la solución de amina y después se desalojan a la atmósfera por calentamiento de la solución de amina en el reactivador. Las impurezas de hidrocarburos en la corriente de hidrógeno no son muy importantes en los procesos donde se usa el hidrógeno. Así, una pequeña cantidad de hidrocarburos se tolera en el efluente gaseoso.

Residuos: Una fuente potencial de residuos son las unidades desulfurizadoras. Estas corrientes pueden contener aceite, compuestos de azufre y fenol.

Nomenclatura para este capítulo.

- $D_f$  = Resistencia de la partícula al movimiento en el medio líquido, dinas.
- $C$  = Coeficiente de resistencia, adimensional.
- $A$  = Area proyectada de los glóbulos de aceite en  $\text{cm}^2$ .
- $\rho_w$  = Densidad del agua,  $\text{g/cm}^3$ .
- $V$  = Velocidad límite de los glóbulos de aceite en el agua, -  
cm/seg.
- $W$  = Peso efectivo de los glóbulos de aceite en el agua, dinas.
- $D$  = Diámetro de los glóbulos, cm.
- $\rho_o$  = Densidad de los glóbulos de aceite,  $\text{g/cm}^3$ .
- $g$  = Aceleración de la gravedad,  $981 \text{ cm/seg}^2$ .
- $\mu$  = Viscosidad absoluta del agua residual a la temperatura -  
de diseño, poises.
- $v_t$  = Velocidad de elevación de los glóbulos de aceite en el -  
agua residual ft/min.
- $S_w$  = Gravedad específica del agua residual a la temperatura -  
de diseño.
- $S_o$  = Gravedad específica del aceite en el agua residual a la -  
temperatura de diseño.

## II.- FUNCIONAMIENTO DE LOS SEPARADORES INSTALADOS EN "RIAMA".

La Refinería de Salamanca cuenta con dos separadores de -- aceite, el API-1 con 3 celdas y una capacidad total de 1800 GPM y el API-2 con 2 celdas y su capacidad total es de 1200 GPM, es te separador se encuentra a profundidad mayor puesto que recibe las aguas aceitosas de la zona más alejada, (hacia el norte) - del área nueva o área Bechtel,

El aceite lubricante que proviene de fugas de bombas y com presoras de las plantas de alcohol y amoníaco y el combustible que viene de llenadoras de carros tanque y de los tanques de la planta de calderas y tratamiento de aguas ("LH"), se recuperan en el separador de la presa de amoníaco.

Generalmente cuando hay descontrol en las plantas llegan a los separadores los siguientes productos.

### Separador No. 1

Recibe el drenaje aceitoso del área sur, de las siguientes plantas:

De la planta desintegradora térmica catalítica, ("TCC") re cibe el cíclico ligero y pesado de un color verdoso. De las -- plantas de destilación primaria ("SA" y "RD"), de la preparadora de carga ("RP"), de la planta de alto vacío No. 1 ("LB"), de la hidrodesulfurizadora y reformadora de nafta ("RN"), gasoli-- nas, kerosinas y residuos. De la planta de mezclado, llenado y envasado de lubricantes ("LX"), cuando se purgan tanques llegan aceites de color amarillo paja. De bombas 1 llegan gasolina, - kerosina diesel y combustible. De las plantas: Refinadora de - lubricantes con furfural ("LF"), desasfaltadora con propano -- ("LD") desparafinadora de lubricantes con MEK ("LG"), planta de tratamiento de parafinas ("LU"), planta de tratamiento de aceite con arcilla ("LO") y de bombas 2, aceites lubricantes y para fines principalmente.

### Separador No. 2

Recibe el drenaje aceitoso del área norte, de las siguientes plantas:

De la planta de alto vacío No. 2 ("U-1"), condensado ligero, lubricantes y residuos. De la desparafinadora de lubricantes No. 2 ("U-5"), refinadora de lubricantes con furfural ---- ("U-3"), lubricantes y parafinas. De la hidrodessintegradora de residuos ("U-10"), hidrotratamiento de lubricantes ("U-4"), desasfaltadora con propano No. 2 ("U-2"), bombas 3, hidrotratadora de kerosina ("U-7"), hidrotratadora de diesel ("U-8") y de las plantas de hidrógeno No. 1 y No. 2 ("U-6" y "U-9" respectivamente) llegan kerosina, diesel, lubricantes y residuos.

### Presa de Amoníaco.

A esta presa llegan las aguas amoniacaes de la planta de amoníaco y las aguas ácidas o alcalinas de la planta de alcohol estas aguas traen muy poco aceite.

El agua antes de entrar a los separadores pasa por un filtro mecánico de canjilones y de ahí fluye a los compartimientos del separador primario, donde se le elimina parte del aceite y lodos. Posteriormente pasa a los compartimientos del separador secundario, donde se elimina más aceite sobre los tubos colectores. El agua de los derrames de estos últimos compartimientos va por gravedad hacia el cárcamo, donde se encuentran instaladas las bombas para conducir el agua hacia la laguna de oxidación en la cual se eliminan los fenoles y posteriormente pasa a la laguna de estabilización, de aquí se descarga al río. El aceite colectado va hacia los pozos de succión de las bombas de donde se envía a tanques de almacenamiento. El aceite recuperado deberá llevar la mínima cantidad de agua y lodo con el fin de facilitar su preparación para posteriormente enviarlo a refinación. Las bombas de lodos sacan los lodos pesados depositados en el fondo del separador. Estas bombas al ponerse a trabajar-

deberán recorrerse lentamente de un lado a otro, para sacar el lodo depositado.

Las rastras al ponerse en servicio cumplen dos funciones, - la primera es arrastrar el aceite de la superficie hacia los tubos desnatadores y la segunda arrastrar el lodo del fondo del compartimiento hacia la succión de las bombas de lodos, las rastras deberán trabajar todo el tiempo excepto cuando el agua que entra al separador lleva mucho lodo en suspensión, entonces será necesario ponerlas fuera de servicio unas horas, hasta que el agua de los derrames del separador esté lo más limpia posible o si ya hay mucho aceite que recoger será necesario ponerlas en servicio. Los lodos tanto de las fosas de los separadores como de los tanques del aceite recuperado pasan a la presa de lodos, la cual se divide en dos la oriente y la poniente, en condiciones normales de operación las presas solo contendrán lodo con una mínima cantidad de agua-aceite. Cuando el nivel en estas presas es muy alto se drena hacia el separador No. 1, --- cuando se nota la presencia de lodos, se deja de drenar.

Al aceite recuperado en tanques se le debe eliminar el --- agua y lodo, que por tener mayor densidad se va al fondo de los tanques y por medio de las válvulas de purga se drenan hacia el separador No.1, si es agua y hacia la presa de lodos cuando empieza a salir la mezcla agua-lodo-aceite. Para tener mejor separación del agua, en el fondo de los tanques hay un serpentín de calentamiento con vapor de baja presión y la temperatura debe regularse entre 70 y 80°C, para no evaporar los aceites más ligeros, cuando un tanque de aceite recuperado este lleno y la concentración de agua en el fondo sea menor de 1 %, se bombeará el aceite hacia tanques de carga de la planta preparadora de -- carga, ("RP").

En la refinería se manejan cuatro clases de aguas contaminadas. Estas son: Agua libre de aceite, agua de enfriamiento, de proceso y sanitaria.

La experiencia ha demostrado que cada clase de agua de desecho se trata con más eficiencia y con frecuencia más económicamente, por separado. La segregación puede ofrecer economía en la construcción del separador y un efluente con menor contenido de aceite.

La elección del sistema de segregación puede hacerse en base a:

- 1.- La calidad del efluente establecida por las autoridades en materia de contaminación ambiental.
- 2.- La intención de reusar el agua efluente.

En este estudio se tomará en cuenta el segundo punto, puesto que se tiene la idea de reusar el agua efluente.

Se propone un sistema para el reuso de corrientes tratadas con bajo contenido de sólidos, siendo necesarias tres fosas: Una para el agua limpia (agua libre de aceite), otra para el agua de reuso y una tercera para el agua con alto contenido de sólidos aceitosos.

#### Descripción del Sistema.

En este sistema toda el agua limpia con alto contenido de sólidos y la de lluvia se envían a la fosa de agua limpia. Todas las aguas de bajo contenido de sólidos limpias o aceitosas se envían a la fosa de agua de reuso (aunque el agua de lluvia limpia, puede reusarse es intermitente y por tanto se envía a la fosa de agua limpia con alto contenido de sólidos). El agua amarga del fondo de los agotadores se envía a la fosa de agua de reuso. Para evitar alta contaminación con sólidos la solución cáustica agotada (neutralizada) no se envía hacia el agua amarga de los agotadores. Así las aguas que entran a la fosa de agua de reuso son: Aquellas con bajo contenido de sólidos, sulfuros y amoníaco. Los fenoles entran a esta fosa vía el agua amarga del fondo de los agotadores, del agua aceitosa del fondo de tanques y del agua de drenajes aceitosos. El agua de reuso se pasa a un separador de aceite para remover el aceite. El agua con alto contenido de sólidos se envía a otro separador de

aceite.

A continuación se citan las corrientes a cada una de las fosas, según su grado de contaminación.

#### Fosa de Agua Limpia.

Agua de lluvia limpia (libre de aceite)

Agua de enfriamiento con alto contenido de sólidos, agua de las plantas de tratamiento de aguas y de calderas.

#### Separador de Agua de Reuso.

Esta agua debe tener bajo contenido de sólidos, como el agua condensada en la fraccionación de crudo y en las líneas de vapor, así como fugas, purgas y derrames de las plantas de desintegración térmica y catalítica, hidrocracking, refinación -- con solvente, desparafinación, hidrotratamiento, desasfaltado -- ras con propano, secado y endulzamiento, manufacturas de parafinas, mezclado y envasado de lubricantes. Con esto se lograría tener un efluente acuoso con bajo contenido de sólidos que pasaría posteriormente a un tratamiento secundario según el uso que se desee dar. El aceite separado también tendría bajo contenido de sólidos, con esto se evita el serio problema que se presenta cuando, el aceite tiene alto contenido de sólidos puesto que, los sólidos generalmente están empapados con aceite, con lo cual disminuye su densidad acercándose a la del agua, debido a esto los sólidos flotan formando una emulsión sólido-agua-aceite en la interfase agua-aceite.

#### Separador de Agua Aceitosa con Alto Contenido de Sólidos.

A este separador van las efluentes limpias o aceitosas con alto contenido de sólidos como: El agua de enfriamiento con alto contenido de sólidos, agua de las desaladoras de crudo, terminado de lubricantes, agua caústica de lavado, solución caústica sulfúrica agotada y purgas de tanques de almacenamiento de crudo.

### III.- SELECCION DEL SEPARADOR Y EQUIPO AUXILIAR.

#### A.- Selección del Separador.

La selección del tipo de separador se efectuará en base a: Eficiencia y facilidad de operación. El separador más eficiente es el de placas corrugadas, puesto que ofrece una superficie de separación grande en una área de terreno pequeña, comparado con el espacio ocupado por un API. El separador con -- placas de Heil Process Equipment Design ofrece ventajas sobre el de la General Electric, puesto que en este último tipo de -- separador se tienen problemas con los lodos los cuales tienden a ensuciar las placas y pueden bloquear el flujo del agua. -- Esto se evita separando los lodos antes de que el agua entre -- al paquete de placas, esta operación en los separadores con -- placas de Heil Process Equipment se efectúa al mismo tiempo -- que la separación de aceite.

Por lo expuesto anteriormente se eligió el separador con placas de Heil Process Equipment.

El separador se dividirá en celdas en las cuales se colocarán los paquetes de placas (CPI). Cada paquete estandar mide 69" de longitud, 42" de ancho y 38" de alto, con 47 placas espaciadas 3/4 de pulgada. El número de paquetes necesarios se calculará en base a: Flujo y temperatura del agua residual, así como del tamaño de partícula y concentración de aceite en el --- agua de desecho.

El número de celdas depende del número de paquetes CPI necesarios y del terreno disponible. El flujo máximo admitido es de 250 GPM/paquete y se consideró que el agua de lluvia no se envía a este separador.

#### B.- Selección del Sistema de Bombeo de Lodos.

Los lodos depositados en el fondo de las celdas del separador se extraen por medio de eyectores, operando con vapor como fluido motriz.

C.- Selección del Bombeo de Aceite Recuperado.

El aceite recuperado pasa de los canales recolectores de aceite por gravedad a un cárcamo de donde se extrae mediante una bomba, la cual lo envía al tanque de control de carga al cambiador, se tiene otra bomba que pasa el aceite del tanque de control a la torre separadora. De ahí se envía al tanque de aceite recuperado.

D.- Selección del Cambiador de Calor.

El calentamiento del aceite a la temperatura de tratamiento se efectuará mediante vapor en un cambiador de calor del tipo de coraza y tubos, circulando el aceite por los tubos ya que es más corrosivo y el vapor va por la coraza.

E.- Selección del Tanque de Almacenamiento.

El aceite recuperado pasa a tanques de almacenamiento donde se reposa para eliminar la mayor cantidad de agua y lodos. El tipo de tanque apropiado es: Vertical con techo fijo y con serpentín de calentamiento para mantener la temperatura del aceite y así actúe mejor el tensoactivo y se facilite la eliminación de agua.

La capacidad de los tanques se eligió según el caudal de agua residual por día de 24 horas de operación, la capacidad requerida es de 6000 barriles. El número de tanques necesarios será como mínimo de 3, de los cuales uno estaría recibiendo otro en reposo y un tercero entregando aceite recuperado a reproceso.

IV.- PARAMETROS DE DISEÑO DEL SEPARADOR Y EQUIPO AUXILIAR.

A) Cálculo del Separador, con placas de Heil Process Equipment Company.

Datos:

Agua Residual.

Flujo volumétrico; 3000 GPM.

Contenido de aceite; 5.9% en volumen.

Temperatura; 30°C, (86°F).

Sgr. del agua 0.992,  $S_w$

Sgr. del aceite; 0.862,  $S_o$

Paquete Estandar.

47 placas corrugadas en paralelo a 3/4 de pulgada.

Altura; 38 pulgadas, 0.965m.

Ancho; 42 pulgadas, 1.067m.

Longitud; 69 pulgadas, 1.753m.

1.- Cálculo del Número de Paquetes.

El cálculo del número de paquetes (CPI) requeridos para -- interceptar todas las partículas de 60 micras y mayores, a las condiciones del agua residual se efectúa como sigue:

La diferencia en gravedad específica entre el agua y el aceites:

$$S_w - S_o = 0.992 - 0.862$$

De la fig. 2 con la diferencia en gravedades específicas-- la temperatura y con el tamaño de partícula removida tenemos:

Flujo/paquete = 225 GPM

$$\text{Número de paquetes (N)} = \frac{\text{Flujo volumétrico total}}{\text{Flujo volumétrico/paquete}}$$

$$N = \frac{3000 \text{ GPM}}{225 \text{ GPM/paquete}}$$

$$N = 13.3 = 14 \text{ paquetes}$$

Con una área horizontal proyectada total de

$$(A_H)_T = 550 \frac{\text{ft}^2}{\text{paquete}} \times 14 \text{ paquetes} = 7700 \text{ ft}^2$$

$$(A_H)_T = 7700 \text{ ft}^2, 716.3 \text{ m}^2.$$

Arreglo: Se colocará un paquete por celda, por tanto tendremos;

$$\text{No. de celdas} = \frac{14}{1} = 14 \text{ celdas}$$

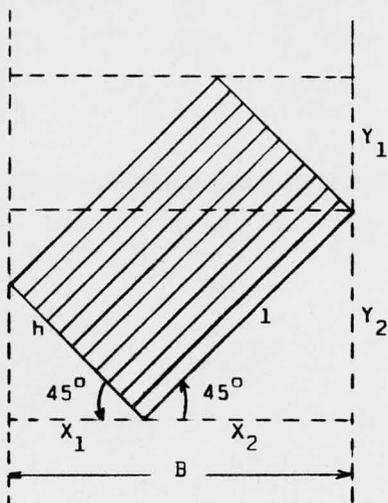
Con un flujo por celda de:

$$\frac{3000 \text{ GPM}}{14 \text{ paquetes}} \times 1 \text{ paquete/celda} = 214.28 \text{ GPM/celda}$$

2.- Cálculo de las Dimensiones de cada Compartimiento de las - Celdas.

a) Compartimiento B. (con N placas en c/compartimiento).

Cálculo del ancho, tomando en cuenta que la placa está a un ángulo de  $45^\circ$  con respecto a la horizontal.



$$\cos 45^\circ = \frac{X_1}{h}$$

$$\cos 45^\circ = \frac{X_2}{l} ; B = X_1 + X_2 ; X_1 + X_2 = Y_1 + Y_2$$

Donde:

B = Ancho del compartimiento B

h = Altura del paquete

l = Longitud del paquete

$$X_1 = h \cos 45^\circ = 38 \text{ in.} \times \cos 45^\circ \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} = 2.239 \text{ ft}$$

$$X_2 = l \cos 45^\circ = 69 \text{ in.} \times \cos 45^\circ \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} = 4.066 \text{ ft}$$

$$B = (2.239 + 4.066) \text{ ft} = 6.305 \text{ ft} = 1.92 \text{ m} \rightarrow 2.00 \text{ m}$$

b) El ancho (D), de la celda es función del número de paquetes por celda. Con un paquete, como mínimo será:

$$42 \frac{\text{in}}{\text{paquete}} \times 1 \text{ paquetes} \times \frac{0.0254 \text{ m}}{1 \text{ in}} = 1.07 \text{ m}$$

Consideraremos:  $D = 1.20 \text{ m}$

c) La altura (H), es función de la distancia vertical ocupada por la celda. Colocando la celda a una distancia conveniente del fondo y de la superficie.

Distancia ocupada por el paquete = 2.00 m

Colocandolo a 0.60 m del fondo y de la superficie.

$$H = 2.00 \text{ m} + 2(0.60 \text{ m}) = 3.20 \text{ m}$$

Considerando un tiempo de residencia de 19 min. el volumen real de la celda será, ( $V_R$ ):

$$V_R = \theta_r Q_m$$

Donde:

$V_R$  = Volumen de líquido en la celda.

$\theta_r$  = Tiempo de residencia del líquido en la celda.

$Q_m$  = Flujo volumétrico que entra a la celda.

$$V_R = 0.81 \frac{\text{m}^3}{\text{min.}} \times 19 \text{ min.} = 15.41 \text{ m}^3$$

$$V_R = 15.41 \text{ m}^3$$

d) El cálculo de la longitud (L), de la celda es función de la altura, el ancho y del volumen ocupado por la celda,  $V_A$ .

$$D = 1.20 \text{ m}$$

$$H = 3.20 \text{ m}$$

$$V_R = 15.41 \text{ m}^3$$

$$V_A = V_R + 0.12 V_R$$

$V_A$  = Volumen aparente de la celda. Se estimó incrementado en un 12% el volumen real de la celda. El incremento de volumen corresponde al ocupado por los paquetes y las divisiones internas de la celda.

$$V_A = 15.41 \text{ m}^3 + 0.12(15.41)\text{m}^3 = 17.26 \text{ m}^3$$

$$V_A = LDH$$

$$L = \frac{V_A}{DH} = \frac{17.26 \text{ m}^3}{1.20 \text{ m} \times 3.2 \text{ m}} = 4.50 \text{ m}$$

Dimensiones de la fosa.

Longitud,  $L = 4.50 \text{ m}$

Ancho,  $D = 1.20 \text{ m}$

Altura,  $H = 3.20 \text{ m}$

Cada celda esta dividida en tres compartimientos, ver fig. 4.

El compartimiento "B" tiene una longitud de 2.00 m y de ancho igual a la celda.

La longitud de los compartimientos B y C las consideraremos iguales:

$$L_A + L_C = L - L_B$$

$$L_A = L_C$$

$$L_C = L_B = \frac{1}{2}(4.5 - 2.0) = 1.25 \text{ m}$$

El separador constará de 14 celdas o compartimientos con un paquete en cada celda. Cada celda está dividida en tres compartimientos con las siguientes dimensiones: Compartimiento "A" de 1.25 m, el compartimiento "B" de 2.00 m y el "C" de 1.25 m con una altura de 3.2 m y una longitud de 1.20 m. Las celdas se colocarán siete a cada lado de un canal común para la entra-

da del agua aceitosa, ver fig. 5.

### B) Cálculo del Cárcamo para Aceite.

El aceite recuperado en el separador pasa a un cárcamo de aceite de donde se bombea a los tanques de almacenamiento. Serán necesarios dos carcamos iguales, ver fig. 5.

Cada cárcamo manejará el aceite recuperado en siete celdas.

$$\text{Aceite a cada cárcamo } 20098 \frac{1}{h}; 20.098 \frac{m^3}{h}$$

### Cálculo de las Dimensiones del Cárcamo.

La longitud y altura del cárcamo serán iguales a los de una celda.

Considerando un tiempo de residencia de 1 Hr.

$$\text{Volumen} = 20.098 \text{ m}^3$$

$$\text{Longitud} = 4.5 \text{ m}$$

$$\text{Altura} = 3.2 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = \frac{20.098 \text{ m}^3}{4.5 \text{ m} \times 3.2 \text{ m}} = 1.29 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 1.5 \text{ m}$$

### Dimensiones de los Cárcamos:

Longitud 4.5 m

Altura 3.2 m

Ancho 1.5 m

### C) Cálculo de las Bombas para Aceite.

1.- Cálculo de la Bomba que Enviará el Aceite del Cárcamo a la Torre Separadora.

El aceite se extrae de los carcamos mediante una bomba. -

El cálculo de esta bomba se hará considerando que bombeará desde el cárcamo hasta la torre recuperadora, manejará el flujo de los dos cárcamos. Se tendrá otra bomba como relevo.

Datos:

Flujo de aceite; 40148 l/h

Temperatura; 77°F

Densidad; 53.53 lb/ft<sup>3</sup>, Sgr. = 0.86

Viscosidad; 8.77 Cps.

Tubo de acero de 3" cédula 40

Codos de 90° estandard; 9

Válvulas de compuerta; 8

Válvulas Check; 1

Tubo recto; 70 metros

Tés; 6

Balance de energía.

Efectuando un balance de energía desde el cárcamo hasta la entrada a la torre recuperadora.

Nivel de referencia: La bomba.

$$W_o = H_T = \left( \frac{P_2}{\rho} + \frac{\bar{V}_2^2}{2\alpha_{gc}} + Z_2 \frac{g}{gc} + \sum H_{fs} \Big|_D^2 \right) - \left( \frac{P_1}{\rho} + \frac{\bar{V}_1^2}{2\alpha_{gc}} + Z_1 \frac{g}{gc} - \sum H_{fs} \Big|_1^5 \right)$$

Cabeza estática de succión,  $S_s = Z_1 \frac{g}{gc}$

$$S_s = (-2.5 \text{ m}) \times 3.28 \frac{\text{ft}}{1 \text{ m}} = -8.2 \text{ ft líquido.}$$

La cabeza de velocidad es despreciable.

Cabeza dinámica de succión,  $h_{SL}$

$$\leq H_{fs} |_1^5$$

$$Q = 23.6 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

Considerando un flujo de 11% al normal.

$$Q = 23.6 + (.11 \times 23.6) = 26.2 \text{ ft}^3/\text{min.} = 0.44 \text{ ft}^3/\text{seg.}$$

$$\rho = 53.53 \text{ Lb}/\text{ft}^3$$

De la fig. 3-9 del Crane tenemos:

$$\omega = 85000 \text{ Lb}/\text{h}$$

$$\mu = 8.77 \text{ Cps.}$$

$$R_e = 20000$$

$$f = 0.027$$

La caída de presión por 100 ft de tubo es:

De la figura 3-11 del Crane:

Con  $f = 0.027$  y  $\rho = 53.53$  y con  $Q = 0.44 \text{ ft}^3/\text{seg.}$

$$\Delta P_{100} = 4.5 \text{ Lb}/\text{in}^2$$

Cálculo de la longitud equivalente.

Concepto	Número	LeU	LeT
Tubo recto	9.8	1	9.8
Codos 90°	2	7.6	15.2
V. compuerta	2	3.5	7.0
Tés	1	5.1	<u>5.1</u>
			37.1

$$\Delta P_s = \frac{37.1}{100 \text{ ft}} \times 4.5 \text{ psi} = 1.67 \text{ psi}$$

$$h_{SL} = 1.67 \text{ psi} \times \frac{2.31}{\text{Sgr.}} = 4.48 \text{ ft de líquido}$$

La cabeza de presión a la succión = 0; puesto que la presión manométrica es cero. (a presión atmosférica).

Condiciones a la descarga

Cabeza estática de descarga, D

Considerando la entrada de aceite a la torre de recuperado a -- 6ft tendremos:

D = 6 ft de líquido

La cabeza de presión a la descarga será 5 ft de líquido.

Cabeza dinámica de descarga, hDL

Con:  $Q = 0.44 \text{ ft}^3/\text{seg}$

$$\rho = 53.53 \text{ Lb/ft}^3$$

De la fig. 3-9 del Crane tenemos:

$$Re = 20000$$

$$f = 0.027$$

La caída de presión por 100 ft de tubo es:

De la fig. 3-11 del Crane.

$$\Delta P_{100} = 4.5 \text{ psi}$$

Cálculo de la longitud equivalente.

Concepto	Número	LeU	LeT
Tubo recto	236	1	236.0
V. C. abierta	6	3.5	21.0
V. Check	1	35	35.0
Codos 90°	7	7.6	53.2
Tés	5	5.1	25.5
Entrada a la torre	1	15	15.0
			<hr/> 385.7

$$\Delta P_D = \frac{385.7}{100} \times 4.5 \text{ psi} = 17.3 \text{ psi}$$

$$h_{SL} = 17.3 \text{ psi} \times \frac{2.31}{\text{Sgr.}} = 46.62 \text{ ft de liquido}$$

En el cambiador de calor se tendrá una caída de presión de 10 psi = 26.86 ft de liquido.

$$H_T = H_D - H_S$$

$$H_D = 5 \text{ ft} + 6 \text{ ft} + 46.62 \text{ ft} + 26.86 \text{ ft} = 84.48$$

$$H_S = -8.2 \text{ ft} - 4.48 \text{ ft} = -12.68 \text{ ft de liquido}$$

$$H_T = H_D - H_S = 97.16 \text{ ft de liquido}$$

$$H_T = 36.17 \text{ psi}$$

$$Q = 196 \text{ GPM}$$

$$Whp = \frac{36.17 \times 196}{1714} = 4.14$$

$$Bhp = \frac{Whp}{\eta}$$

Considerando una eficiencia de 70%

$$Bhp = 5.9$$

$$W = .44 \frac{\text{ft}^3}{\text{seg}} \times 53.53 \text{ Lb/ft}^3 = 23.55 \text{ Lb/seg}$$

$$HP = 23.55 \frac{\text{Lb}}{\text{seg}} \times 97.16 \frac{\text{Lb ft}}{\text{Lb m}} \times \frac{1 \text{ HP}}{550 \frac{\text{Lb ft}}{\text{seg}}} = 4.16$$

$$HP = \frac{4.16}{\eta} = 5.9$$

Para el manejo de aceite se tendrán dos bombas de 6 HP,--- una operando y otra de relevo. Dependiendo de las condiciones de operación del separador CPI y del sistema de tratamiento de aceite recuperado, el bombeo será continuo o intermitente, cuidando el nivel de aceite en los cárcamos.

Cuando el sistema de tratamiento de aceite recuperado funcione normalmente, el aceite se bombeará desde el cárcamo al tanque de control y de éste a la torre separadora.

## 2.- Cálculo de la Bomba que Enviará el Aceite del Tanque de Control de Flujo hasta la Torre Separadora.

Nivel de referencia: La bomba.

Cabeza estática de succión,  $Z_1 \frac{g}{gc}$

$$Z_1 \frac{g}{gc} = 15 \text{ ft de líquido}$$

La cabeza de velocidad es despreciable.

Cabeza dinámica de succión,  $h_{SL}$

$$\leq H_{fs} \Big|_1^s$$

Como se calculó anteriormente tenemos una caída de presión en 100 ft de tubo de:

$$\Delta P_{100} = 4.5 \text{ Lb/in}^2$$

Cálculo de la longitud equivalente total.

Concepto	Número	LeU	LeT
Tubo recto	3.3	1.0	3.3
Codos 90°	2	7.6	15.2
V. compuerta	1	3.5	3.5
Salida. tanque	1	12.0	<u>12.0</u>
			34.0

$$\Delta P_s = \frac{34.0}{100} \times 4.5 \text{ psi} = 1.53 \text{ psi}$$

$$h_{SL} = 1.53 \text{ psi} \times \frac{2.31}{S_{gr}} = 4.11 \text{ ft de líquido.}$$

Cabeza de presión a la succión.

El tanque está venteado por tanto:

Cabeza de presión en la succión = 0

Condiciones a la descarga:

Cabeza estática de descarga,  $Z_2 \frac{g}{gc}$

La entrada de aceite recuperado a la torre estará aproximadamente a 2 m.

$$Z_2 \frac{g}{gc} = 3.28 \frac{\text{ft}}{1 \text{ m}} \times 2 \text{ m} = 6.56 \text{ ft de líquido.}$$

Cabeza de presión a la descarga = 4.92 ft

Cabeza dinámica de descarga, hDL

La caída de presión en 100 ft de tubo es:

$$\Delta P_{100} = 4.5 \text{ psi}$$

Cálculo de la longitud equivalente:

Concepto	Número	LeU	LeT
Tubo recto	37.7	1.0	37.7
Codos 90°	6	7.6	45.6
V. compuerta	3	3.5	10.5
V. Check	1	35.0	35.0
Tés	2	5.1	10.2
Entrada a la columna	1	15	15.0

$$L_{eT} = 154 \text{ ft}$$

$$\Delta P_D = \frac{154}{100} \times 4.5 \text{ psi} = 6.93 \text{ psi}$$

$$h_{DL} = 6.93 \times \frac{2.31}{0.86} = 18.6 \text{ ft de líquido.}$$

En el cambiador de calor se tendrá una caída de presión de 10 -  
psi = 26.86 ft de líquido.

$$H_T = H_D - H_S$$

$$H_D = 4.92 \text{ ft} + 6.56 \text{ ft} + 18.6 \text{ ft} = 30 \text{ ft}$$

$$H_S = 15 \text{ ft} - 4.11 \text{ ft} = 10.9 \text{ ft}$$

$$H_T = H_D - H_S = 19.1 \text{ ft líquido.}$$

$$H_T = 7.1 \text{ psi}$$

$$Bhp = \frac{7.1 \times 196}{1714} \times \frac{1}{\eta} = 1.1$$

$$HP = 1.2 \text{ HP}$$

La bomba será de 2 HP.

3.- Cálculo de la Bomba que Envía el Aceite de la Torre Separadora al Tanque de Almacenamiento de Aceite Recuperado.

Condiciones a la succión.

Cabeza de presión = 0

Cabeza de velocidad despreciable.

Cabeza estática,  $Z_1 \frac{g}{gc}$

El flujo es el mismo así como el diámetro del tubo por tanto tenemos que:

$$\frac{\Delta P}{100} = 4.5 \text{ psi}$$

Cálculo de la longitud equivalente:

Concepto	Número	LeU	LeT
Tubo recto	14.8	1.0	14.8
Codos 90°	2	7.6	15.2
V. compuerta	1	3.5	3.5
Salida de la torre	1	12.0	<u>12.0</u>
			45.5

$$\Delta P_S = \frac{45.5}{100} \times 4.5 = 2.05 \text{ psi}$$

$$h_{SL} = 2.05 \times \frac{2.31}{0.86} = 5.51 \text{ ft de líquido}$$

Condiciones a la descarga.

Cabeza de presión 33 ft de líquido.

La cabeza de velocidad es despreciable

Cabeza estática,  $Z_2 \frac{g}{g_c}$

$$Z_2 \frac{g}{g_c} = 1 \text{ ft de líquido}$$

Cabeza dinámica,  $h_{DL}$

$$\Delta P_{100} = 4.5 \text{ psi}$$

Cálculo de la longitud equivalente.

Concepto	Número	LeU	LeT
Tubo recto	32.8	1.0	32.8
V. compuerta	1	3.5	3.5
V. Check	1	35.0	35.0
Codos 90°	2	7.6	15.2
Tés	1	5.1	5.1
Entrada, al tanque	1	15.0	<u>15.0</u>
			106.6

$$\Delta P_D = \frac{106.6}{100} \times 4.5 \text{ psi} = 4.8 \text{ psi}$$

$$h_{DL} = 4.8 \times \frac{2.31}{0.86} = 12.88 \text{ ft de líquido}$$

$$H_T = H_D - H_S$$

$$H_D = 33 \text{ ft} + 1 \text{ ft} + 12.88 \text{ ft} = 46.88 \text{ ft líquido}$$

$$H_S = 11.5 \text{ ft} - 5.51 \text{ ft} = 5.99 \text{ ft líquido}$$

$$H_T = 41 \text{ ft líquido} = 15.22 \text{ psi}$$

$$B_{hp} = \frac{15.22 \times 196}{1714} \times \frac{1}{\eta} = 2.5$$

$$HP = 2.51 \text{ ft}$$

Bomba de 3 HP.

D) Cálculo del Cambiador de Calor.

Flujo de aceite; 40148 l/h

Temperatura a la entrada; 25°C

Densidad a T. de entrada; 53.53 Lb/ft<sup>3</sup>

Sgr.; 0.86, °API = 31.7

viscosidad a la entrada; 8.77 Cps.

Temperatura a la salida; 80°C

$$R_d = 0.003$$

El calentamiento se hará con vapor saturado.

Presión del vapor; 18 Kg/cm<sup>2</sup>

Temperatura del vapor; 404°F

Efectuando un balance de calor.

Para el aceite:

$$Q = W C_p \Delta T = 75915 \frac{\text{Lb}}{\text{h}} \times 0.49 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb} \cdot \text{F}} (176 - 77)$$

$$Q = 3682637 \text{ BTU/Lb.}$$

Para el vapor:

$$Q = m \lambda = m(770 \text{ BTU/Lb}) = 3682637 \text{ BTU/h}$$

$$m = \frac{3682637 \text{ BTU/h}}{770 \text{ BTU/Lb}} = 4783 \text{ Lb/h}$$

Cálculo de la diferencia verdadera de temperatura, t.

Fluido caliente		Fluido frío	Dif.
404	Alta temp.	176	228
404	Baja temp.	77	327
0	Diferencias	99	99

LMTD (contracorriente).

$$LMTD = t = \frac{(T_1 - t_2) (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} = \frac{228 \quad 327}{\ln \frac{228}{327}} = 274.5$$

$$\text{LMTD} = 274.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{404 - 404}{176 - 77} = 0$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{176 - 77}{404 - 77} = 0.303$$

$$F_T = 1.0$$

$$\text{LMTD} = \Delta t = 274.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Temperaturas calóricas.

$$T_c = T_2 + F_c(T_1 - T_2)$$

$$t_c = t_1 + F_c(t_2 - t_1)$$

$$T_1 - T_2 = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} t_2 - t_1 = 99 ; K_c = 0.29 \\ \frac{\Delta t_c}{\Delta t_h} = \frac{404 - 77}{404 - 176} = 1.43 \end{array} \right\} F_c = .51$$

$$t_c = 77 + 0.51(99) = 127.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_c = 404 \text{ } ^\circ\text{F}$$

El aceite se colocará en los tubos debido a que es muy corrosivo.

Probando con un cambiador 1-2

Con tubos de 3/4 in, 16 BWG, paso 1" arreglo en triángulo, de 12'

de longitud.

Suponiendo  $U_D = 70$

$$A = \frac{Q}{U_D \Delta t} = \frac{3682637}{70 \times 274.5} = 191.6 \text{ ft}^2$$

$$a'' = 0.1963 \text{ ft}^2/\text{ft lin.}$$

$$\text{Número de tubos} = \frac{191.6 \text{ ft}^2}{12' \times 0.1963} = 81.4$$

Suponiendo dos pasos en los tubos:

De la tabla 9 del Kern el valor más próximo es: 82 tubos en una coraza de 12".

Corrigiendo  $U_D$ :

$$A = 82 \times 12 \times 0.1963 = 193.1 \text{ ft}^2$$

$$U_D = \frac{3682637}{274.5 \times 193.1} = 69.4$$

CORAZA

FLUIDO CALIENTE: VAPOR

Espaciado de los deflectores.

$$B = DI = 12''$$

$$\text{Área de flujo, } A_s = \frac{DI \times C'B}{144 P_T}$$

$$A_s = \frac{12 \times 0.25 \times 12}{144 \times 1} = 0.25$$

$$G_s = \frac{W}{A_s} = \frac{4783}{0.25}$$

$$G_s = 19132 \text{ Lb/h ft}^2$$

TUBOS

FLUIDO FRIO: ACEITE

$$\text{Área de flujo, } A'_t = 0.302 \text{ in}^2$$

$$A_t = N_t A'_t / 144n$$

$$= \frac{82 \times 0.302}{144 \times 2} = 0.0859 \text{ ft}^2$$

$$\text{Masa velocidad, } G_t = W/A_t$$

$$G_t = \frac{75915}{0.0859} = 882875 \text{ Lb/(h)(ft}^2)$$

$$a_{tc} = 127.5 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$a \quad T_c = 404^\circ\text{F}$$

$$\mu = 0.016 \times 2.42 \text{ Lb/h ft}^2$$

$$\mu = 0.0387 \text{ Lb/hft}^2$$

$$D_e = \frac{0.713}{12} = 0.0608 \text{ ft}$$

$$Re_s = \frac{D_e G_s}{\mu}$$

$$Re_s = 30000$$

$$h_o = 1500$$

$$t_w = t_c + \frac{1500}{66.5 + 1500} \times$$

$$(404 - 127.5)^\circ\text{F}$$

$$t_w = 392^\circ\text{F.}$$

$$\mu = 4.7 \times 2.42 = 11.4 \text{ Lb/h ft}$$

$$D = 0.62/12 = 0.0517 \text{ ft}$$

$$Re_t = G_t D/\mu = 4000$$

$j_H = 13$  de la fig. 24 Kern

Para  $\mu = 4.7$  Cps. y 31.7 °API de la fig. 16 del Kern.

$$\left(\frac{k C_p \mu}{k}\right)^{1/3} = 0.32 \frac{\text{BTU}}{\text{h ft}^2(\text{°F}/\text{ft})}$$

$$h_i = j_H \frac{k}{D} \left(\frac{C_p \mu}{k}\right)^{1/3} \phi_t$$

$$\frac{h_i}{\phi_t} = \frac{13 \times 0.32}{0.0517} = 80.5$$

$$\frac{h_{io}}{\phi_t} = \frac{h_i}{\phi_t} \frac{DI}{DE} = 66.5$$

$$a \quad t_w = 392^\circ\text{F}$$

$$\mu_w = \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} = 1.35$$

$$h_{io} = \frac{h_{io} \phi_t}{\phi_t} = 89.8$$

### CAIDA DE PRESION

En la coraza

$$Re_s = 30000$$

En los tubos

Para  $Re_t = 4000$  obtener f de-

$$f = 0.0017$$

$$\text{No. de cruces} = N + 1 = \frac{12 L}{B}$$

$$N + 1 = \frac{12 \times 12}{12} = 12$$

$$\Delta P_s = \frac{1}{2} \frac{0.0017 \times 19132^2 \times 12 \times 1}{5.22 \times 10^{10} \times 0.0608 \times 0.0086 \times 1}$$

$$\Delta P_s = 0.137 \text{ Lf/ in}^2$$

$\Delta P_s$  permitida es 10 Lb/ in<sup>2</sup>

la fig. 26 del Kern.

$$f = 0.00035 \text{ ft}^2 / \text{ in}^2$$

$$\Delta P_t = \frac{0.00035 \times 882875^2 \times 12 \times 2}{5.22 \times 10^{10} \times 0.0517 \times 0.62 \times 1.35}$$

$$\Delta P_t = 2.9 \text{ Lb/ in}^2$$

$$\Delta P_r = \frac{4n}{5gr.} \frac{v^2}{2g'}$$

$$\Delta P_r = 1.4 \text{ Lb/ in}^2$$

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r$$

$$\Delta P_T = 4.3 \text{ Lb/ in}^2$$

$\Delta P_T$  permitida = 10 Lb/ in<sup>2</sup>

$$U_C = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{89.8 \times 1500}{89.8 + 1500} = 84.7 \frac{\text{BTU}}{\text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$R_d = \frac{U_C - U_D}{U_C \times U_D} = \frac{84.7 - 69.4}{84.7 \times 69.4} = 0.003 \text{ h (ft}^2\text{)}(^\circ\text{F)} / \text{BTU}$$

	1500	$h_{\text{exterior}}$	89.7
$U_C$		84.7	
$U_D$		69.4	
Rd calculado		0.003	
Rd requerido		0.003	
0.137		$\Delta P$ calculado	4.3
10.0		$\Delta P$ permitida	10.0

El cambiador que satisface las necesidades es: 1-2, con 82 tubos de 3/4 in. 16 BWG, con paso de 1 in. arreglo en triángulo de 12 in. de longitud en una coraza de 12 in. de diámetro.

E) Cálculo del Tanque de Almacenamiento.

El aceite recuperado a almacenar es:

$$40197 \text{ l/h} = 6069 \text{ barriles/dfa}$$

Se diseñarán tanques con una capacidad nominal de 6000 barriles

1.- Cálculo del Diámetro y Altura Optimos.

Las proporciones óptimas de un tanque son influenciadas -- por los costos del terreno, de la cimentación, del techo, del -- cuerpo y del fondo del tanque.

Volumen del tanque,  $\text{ft}^3$

$$V = \frac{\pi D^2 H}{4} \quad \text{de donde, } H = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (1)$$

Costo total:

$$C = A_1 c_1 + A_2 (c_2 + c_3 + c_4 + c_5) \quad (2)$$

Donde:

D = diámetro del tanque, ft

H = altura del tanque, ft

V = volumen del tanque,  $\text{ft}^3$

$A_1$  = área del cuerpo,  $\text{ft}^2, \pi DH$

$A_2$  = área del fondo del tanque o el área proyectada del techo, -  
 $\text{ft}^2 = \frac{\pi D^2}{4}$

$c_1$  = costo anual de fabricación del cuerpo en dólares/ $\text{ft}^2$

$c_2$  = costo anual de fabricación del fondo, dólares/ $\text{ft}^2$

$c_3$  = costo anual de fabricación del techo, dólares/ $\text{ft}^2$

$c_4$  = costo anual de instalación del techo, dólares/ft<sup>2</sup>  
 $c_5$  = costo anual del terreno, dólares/ft<sup>2</sup>  
 $C$  = costo anual total del tanque, dólares/año

Sustituyendo en la ecuación (2),  $A_1$  y  $A_2$  tenemos:

$$C = \pi D H c_1 + \frac{\pi D^2}{4} (c_2 + c_3 + c_4 + c_5)$$

Sustituyendo H en términos de D tenemos:

$$C = \frac{4V}{D} c_1 + \frac{\pi D^2}{4} (c_2 + c_3 + c_4 + c_5) \quad (3)$$

Por razones de estabilidad elástica el espesor mínimo del cuerpo de tanques de 45 ft de altura y menores se limita a 3/16". Para estos tanques puede considerarse que tienen un espesor independiente de D y H, sustituyendo en la ecuación del espesor de placas soldadas a tope tenemos:

$$t = 0.0001456 (H-1)D \quad ; \quad t = 3/16$$

$$D(H-1) = 1288$$

Así tenemos que todos los tanques con cuerpo soldado a tope que tienen un valor de  $D(H-1)$  menor o igual a 1288, tienen costos por unidad de área de cuerpo fondo y techo que pueden considerarse independientes de D y H por tanto diferenciando de la ecuación (3) el costo total con respecto a D y considerando el volumen conocido y los costos  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$ , y  $c_5$  constantes para el volumen considerado tenemos:

$$\frac{dc}{dD} = -\frac{4Vc_1}{D^2} + \frac{\pi D}{2} (c_2 + c_3 + c_4 + c_5)$$

Para costo mínimo la pendiente de la curva de costo contra diámetro del tanque, para tener un volumen fijo, debe igualarse

a cero.

$$-\frac{4 V c_1}{D^2} + \frac{\pi D}{2} (c_2 + c_3 + c_4 + c_5) = 0$$

Resolviendo para D tenemos:

$$D = 2H \frac{c_1}{c_2 + c_3 + c_4 + c_5} \quad (5)$$

Para un tanque pequeño, cerrado el costo por unidad de área para el cuerpo, techo y fondo es igual y despreciando el costo de la cimentación y del terreno:

$$c_1 = c_2 = c_3$$

y si  $c_4$  y  $c_5 = 0$  de la ecuación (5) tenemos:

$$D = 2H \frac{c_1}{c_1 + c_1 + 0} = H$$

Para el tanque en consideración.

$$D = H = \sqrt[3]{\frac{4 V}{\pi}} \quad ; \quad V = 6000 \text{ barriles.}$$

$$D = H = 35.1 \text{ ft}$$

Puesto que el tanque se construirá con cursos de 72 in., (6 pies), consideraremos una altura del tanque de 36 pies (con 6 cursos) y el diámetro de 35 ft con lo cual la capacidad nominal -- del tanque será:

$$V = .14 D^2 H \text{ barriles.}$$

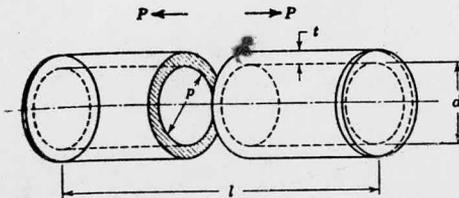
$$V = 6174 \text{ barriles.}$$

2.- Diseño del Cuerpo del Tanque.

En un cuerpo cilíndrico ocurren varios tipos de esfuerzos:

- a) Esfuerzo longitudinal resultante de la presión dentro del depósito.
- b) Esfuerzo circunferencial resultante de la presión dentro del depósito.
- c) Esfuerzo residual en soldaduras debido a calentamientos localizados.
- d) Esfuerzo resultante de cargas sobreimpuestas.
- e) Esfuerzos resultantes de diferencias térmicas.

Esfuerzo longitudinal.



$P$  = fuerza que tiende a romper al depósito en dos.

$$= \frac{p \pi d^2}{4}$$

$a$  = área del metal resistente a la ruptura longitudinal.

$$= t \pi d$$

$$f = \text{esfuerzo} = \frac{P}{a} = \frac{p \pi d^2 / 4}{t \pi d} = \frac{p d}{4 t} \text{ esfuerzo inducido Lb/in}^2. \quad (6)$$

Donde:

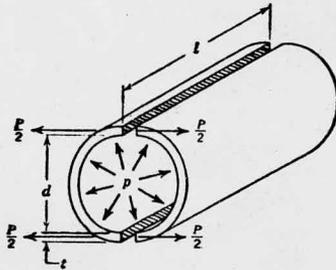
$l$  = longitud, in.

$d$  = diámetro interno, in.

$t$  = espesor del cuerpo, in.

$p$  = presión interna, Lb/in<sup>2</sup> man.

Esfuerzo circunferencial.



Considerando que el esfuerzo circunferencial es causado solamente por la presión interna tenemos:

$P$  = fuerza que tiende a romper circunferencialmente el depósito.

$$= pdl$$

$a$  = área del metal que resiste la fuerza.

$$= 2 tl$$

$$f = \text{esfuerzo} = \frac{P}{a} = \frac{pdl}{2 tl} = \frac{Pd}{2 t}$$

$$t = \frac{pd}{2f} \quad (7)$$

Consideraremos la ecuación (7), puesto que hay más seguridad debido a que el espesor obtenido es el doble del obtenido por la ecuación, (el esfuerzo circunferencial es mayor que el longitudinal), (6)

Introduciendo en la ecuación (7) un factor de eficiencia de juntas y agregando al espesor calculado la tolerancia a la corrosión tenemos:

$$t = \frac{pd}{2fE} + c$$

Donde:

E = eficiencia de las juntas, adimensionales.

c = tolerancia a la corrosión, in.

Para tanques de almacenamiento el esfuerzo máximo permisible de trabajo se considera aproximadamente la tercera parte -- del último esfuerzo tensil del acero, esto es empleando un factor de seguridad de 3. El esfuerzo se calcula sobre la base de que el tanque se llena con agua a 60°F (densidad 62.37 Lb/ft<sup>3</sup>) -- y que la tensión en cada anillo se calcula a 12 in. del fondo -- del curso. La siguiente ecuación puede derivarse si consideramos que la densidad del fluido a almacenar no excede la del agua la cual se usa para la prueba hidrostática del tanque.

$$P = \rho \frac{(H-1)}{144} \quad (8)$$

Donde:

$\rho$  = densidad del agua a 60°F = 62.37 Lb/ft<sup>3</sup>

H = altura, ft, del fondo del curso en consideración al derrame del tanque.

Para juntas a tone el valor de "p" puede sustituirse en la ecuación

ción (7) usando un esfuerzo de diseño permisible de 21000 psi y eficiencia de juntas de 0.85.

$$t = \frac{62.37 (H-1)(12 D)}{2(21000)(0.85)(144)} + c \quad (9)$$

Consideraremos una tolerancia a la corrosión de 1/8"

Curso del Fondo del Cuerpo. (primer curso).

$$t_1 = 0.0001456 (H-1)D + c$$

$$t_1 = 0.0001456 (36-1)35 + 1/8"$$

$$t_1 = 0.30 \text{ in.}$$

Empleando cinco placas y con una tolerancia de 5/32 in. para -- juntas verticales, la longitud centrada de cada placa se calcula de la circunferencia.

$$L_1 = \frac{\pi d - \text{longitud soldadura}}{12 n} = \frac{3.1416 (420.30) - 5 \times 5/32}{12 \times 5}$$
$$= 21.994 \text{ ft} = 22 \text{ ft}$$

Para el Segundo Curso.

$$H = 36 - 6 = 30 \text{ ft}$$

$$t_2 = 0.0001456 (30-1)35 + 1/8"$$

$$t_2 = 0.273 \text{ in.}$$

$$L_2 = \frac{3.1416 (420.24) - 5(5/32)}{12 \times 5} = 21.992 \text{ ft}$$

$$L_2 = 21.992 = 22 \text{ ft}$$

Para el Tercer Curso.

$$t_3 = 0.0001456 (24 - 1)35 + 1/8''$$

$$t_3 = 0.242 \text{ in.}$$

$$L_3 = \frac{3.1416 (420.24) - 5(5/32)''}{12 \times 5}$$

$$L_3 = 21.990 \rightarrow 22 \text{ ft}$$

Para el Cuarto Curso.

$$t_4 = 0.0001456 (18 - 1)35 + 1/8''$$

$$t_4 = 0.211 \text{ in.}$$

$$L_4 = \frac{3.1416 (420.211) - 5(1/8)''}{12 \times 5}$$

$$L_4 = 21.991 \rightarrow 22 \text{ ft}$$

Para el Quinto Curso.

$$t_5 = 0.0001456 (12 - 1)35 + 1/8''$$

$$t_5 = 0.181$$

$$L_5 = \frac{3.1416 (420.181) - 5(1/8)''}{12 \times 5}$$

$$L_5 = 21.990 \rightarrow 22 \text{ ft}$$

Para el Sexto Curso. (curso superior).

$$t_6 = 0.0001456 (6 - 1)35 + 1/8''$$

$$t_6 = 0.150 \text{ in.}$$

$$L_6 = \frac{3.1416 (420.150) - 5(1/8)}{12 \times 5}$$

$$L_6 = 21.989 \rightarrow 22 \text{ ft}$$

El anillo atiesador recomendado para tanques de 35 ft o menores es de  $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$  in., con un módulo de sección de  $1.61 \text{ in}^3$  para cuerpos de  $3/16$  de in. El anillo atiesador se soldará a tope con la placa superior del cuerpo, usando cinco tramos del anillo. La longitud de cada ángulo será:

$$L = \frac{\pi(420.25) - 5(0.15625)}{12 \times 5}$$

$$L = 21.99 \rightarrow 22 \text{ ft}$$

Dimensiones de las Placas del Cuerpo.

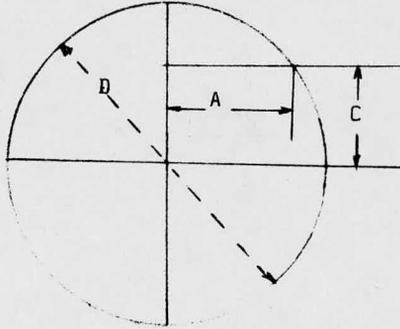
	Dimensiones	Soldadura vertical
Curso del fondo	5/16" X 22 ft	5/32
Curso 2	5/16" X 22 ft	5/32
Curso 3	1/4" X 22 ft	5/32
Curso 4	1/4" X 22 ft	1/8
Curso 5	3/16" X 22 ft	1/8
Curso 6	3/16" X 22 ft	1/8
Anillo atiesador	$2 \frac{1}{2} \times 2 \frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$ in	5/32

### 3.- Diseño del Fondo del Tanque.

La forma y diseño del fondo de un tanque de almacenamiento dependerá de las siguientes consideraciones: Del tipo de sedimentación, del método de remoción del líquido almacenado, del grado de sedimentación de sólidos suspendidos, de la corrosión y del tamaño del tanque de almacenamiento. Para las placas del fondo se recomienda que tengan un espesor de  $5/16$  in., soldados con un traslape de por lo menos  $1 \frac{1}{4}$ " para todas las juntas.

El tamaño de las placas perimetrales y su localización; -- puede calcularse usando la siguiente ecuación:

$$A^2 = \frac{D^2}{4} - C^2 \quad ( 10 )$$

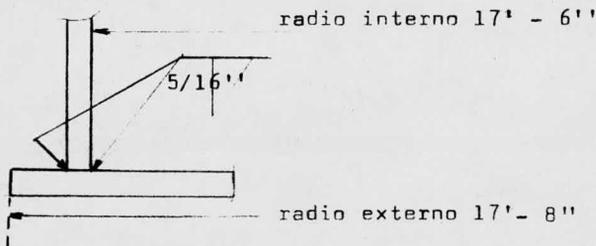


Datos:

Diámetro del tanque, D, 35 ft

Espesor de la placa del fondo del cuerpo  $5/16$  in., con un filete de soldadura de  $5/16$ " entre las placas del fondo y las del cuerpo. Las placas del fondo se extenderán como mínimo 1 in. más allá de la soldadura con el cuerpo, por lo tanto el radio aumentará por lo menos:

$1 + \frac{5}{16} + \frac{5}{16} = 1 \frac{5}{8}$  in. o sea que el fondo tendrá un radio de: - 17 ft 8 in.



Los platos del fondo están alineados simetricamente con respecto a las líneas centrales, así el número de formas diferentes de las placas se reduce a un mínimo. (en grupos de cuatro placas iguales).

Las placas centrales serán de 6' de ancho por 11' 10  $\frac{3''}{4}$  y de -- 6' X 20'

Las placas de la periferia se calculan aplicando la ecuación 10

Cálculo de la placa 1

Ancho de la placa 1 en el extremo superior.

$$D = 35' 4''$$

$$C = 5' 11 \frac{3''}{8}$$

Sustituyendo en la ecuación (10).

$$A^2 = \frac{(35 \text{ ft, } 4 \text{ in})^2}{4} - (5 \text{ ft, } 11 \frac{3}{8} \text{ in})^2$$

$$A = 16.635 \text{ ft.}$$

$$A = 16 \text{ ft, } 7 \frac{5}{8} \text{ in.}$$

El ancho de la placa 1 será:

$$\text{Ancho} = (16 \text{ ft, } 7 \frac{5}{8} \text{ in}) - \left[ 1 \frac{1}{5} (6 \text{ ft, } 0 \text{ in}) - 2 (1 \frac{1}{4} \text{ in}) \right]$$

$$\text{Ancho} = 7' 10 \frac{1''}{8}$$

Cálculo de las dimensiones de la placa 2

Ancho de la placa 2 en el extremo inferior.

$$D = 35' 4''$$

$$C = 5' 11 \frac{3''}{8} - 1 \frac{1''}{4} = 5' 10 \frac{1''}{8}$$

$$A^2 = \frac{(35', 4'')^2}{4} - (5' 10 \frac{1''}{8})^2$$

$$A = 16.6721 \text{ ft}$$

$$A = 16' 8 \frac{1''}{16}$$

$$\text{Ancho} = 16' 8 \frac{1''}{16} - (10' 0'' - 1 \frac{1''}{4})$$

$$\text{Ancho extremo inferior} = 6' 9 \frac{5''}{16}$$

Ancho de la placa 2 en el extremo superior.

$$D = 35' 4''$$

$$C = 11' 10 \frac{1''}{8}$$

De la ecuación (10).

$$A^2 = \frac{(35', 4'')^2}{4} - (11', 10 \frac{1''}{8})^2$$

$$A = 13.1086 \text{ ft}$$

$$A = 13 \text{ ft}, 1 \frac{5''}{16}$$

$$\text{Ancho} = (13', 1 \frac{5''}{16}) - (10' 0'' - 1 \frac{1''}{4})$$

$$\text{Ancho} = 3 \text{ ft}, 2 \frac{9}{16} \text{ in.}$$

Cálculo de las dimensiones de la placa 3.

Ancho en el extremo inferior.

$$D = 35' 4''$$

$$C = 11' 10 \frac{1''}{8} - 1 \frac{1''}{4} = 11' 8 \frac{7''}{8}$$

$$A^2 = \frac{(35' 4'')^2}{4} - (11' 8 \frac{7''}{8})^2$$

$$A = 13.202 \text{ ft}$$

$$A = 13' 2 \frac{7''}{16}$$

$$\text{Ancho} = 13' 2 \frac{7''}{16} - 5' 11 \frac{3''}{8} + 1 \frac{1''}{4} = 7' 4 \frac{5''}{16}$$

Cálculo del ancho en la dirección vertical de la placa 3:

$$C = 5' 11 \frac{3''}{8} - 1 \frac{1''}{4} = 5' 10 \frac{1''}{8}$$

$$D = 35' 4''$$

$$A^2 = \frac{D^2}{4} - C^2 = \frac{(35' 4'')^2}{4} - (5' 10 \frac{1''}{8})^2$$

$$A = 16.6721 \text{ ft}$$

$$A = 16' 8 \frac{1''}{16}$$

$$\text{Ancho} = 16' 8 \frac{1''}{16} - 11' 10 \frac{1''}{8} + 1 \frac{1''}{4}$$

$$\text{Ancho} = 4' 11 \frac{3''}{16}$$

Cálculo de las dimensiones de la placa 4, en la dirección vertical.

$$C = 5' 11 \frac{3''}{8}$$

$$D = 35' 4''$$

$$A^2 = \frac{(35' 4'')^2}{4} - (5' 11 \frac{3''}{8})^2$$

$$A = 16.6353$$

$$A = 16' 7 \frac{5''}{8}$$

$$\text{Ancho} = 16' 7 \frac{5''}{8} - 11' 10 \frac{1''}{8} + 1 \frac{1''}{4}$$

$$\text{Ancho} = 4' 10 \frac{3''}{4}$$

Cálculo del ancho en la placa 4, en el centro.

$$C = \frac{5''}{8}$$

$$D = 35' 4''$$

$$A^2 = \frac{(35' 4'')^2}{4} - (\frac{5''}{8})^2$$

$$A = 17.666 \text{ ft.}$$

$$A \approx 17' 8''$$

$$\text{Ancho} = 17' 8'' - 11' 10 \frac{1''}{8} + 1 \frac{1''}{4}$$

$$\text{Ancho} = 5' 11 \frac{1''}{8}$$

#### 4.- Diseño del Techo del Tanque.

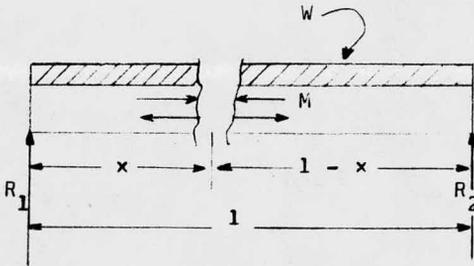
De acuerdo con las dimensiones del tanque y las características del líquido a almacenar, el techo del tanque será cónico con soportes estructurales, con placas de 3/16 in. de espesor, (7.65 Lb/ft<sup>2</sup>) y 72 in. de ancho con traslapes de 1  $\frac{1}{4}$  in. La longitud de las placas será según el arreglo más económico. El soporte de vigas arregladas radialmente y soportadas por una columna central.

Las dimensiones de las placas del techo se calcularon de la misma manera que las del fondo, ver fig. 8.

Análisis de esfuerzos en el soporte estructural del techo.

La separación entre vigas será la apropiada para evitar sobreesfuerzos en las placas del techo debido a flexiones. Se considera que las placas actúan como viguetas planas continuas -- con carga uniformemente repartida. Y las vigas se considera -- que actúan como viguetas con carga uniformemente repartida con extremos libres.

Vigas cargadas uniformemente, con extremos libres.



Considerando un punto,  $X$ , entre los apoyos  $R_1$  y  $R_2$  en la viga con una carga,  $W$ , uniformemente repartida en  $l$  b/in. lineal.

Cálculo de  $R_1$  y  $R_2$ .

Suma de momentos en el apoyo 2.

$$\sum M_2 = R_1 l - w l \left(\frac{l}{2}\right) = 0$$

$$R_1 = \frac{w l}{2}$$

Suma de momentos en el apoyo 1.

$$\sum M_1 = \left(w l / \frac{l}{2}\right) - R_2 l = 0$$

$$R_2 = \frac{w l}{2} = R_1 \quad ( 11 )$$

Momentos flexionantes.

$$M = \sum M_i$$

$$M = R_1 X - w X \left(\frac{X}{2}\right) \quad \text{sustituyendo el valor de } R_1$$

$$M = \frac{w l}{2} X - w \frac{X^2}{2} \quad ( 12 )$$

Cálculo del momento flexionante máximo.

$$\frac{dM}{dX} = 0$$

$$\frac{d}{dX} \left( \frac{w l}{2} X - \frac{w}{2} X^2 \right) = 0$$

$$\frac{w l}{2} - w X = 0$$

$$X = \frac{l}{2}$$

O sea que el punto donde la viga se encuentra más fatigada es en el centro.

Sustituyendo en la ecuación (12) tenemos:

$$M = \frac{w_1}{2} \frac{1}{2} - \frac{w(1/2)^2}{2}$$

El momento flexionante máximo es:

$$M = \frac{w_1^2}{8} \quad (13)$$

La fuerza cortante en la viga será:

$$F_c = \pm F_i$$

$$F_c = R_1 - wX$$

$$F_c = \frac{w_1}{2} - wX$$

Flexión en la viga.

$$M = EI \frac{d^2Y}{dX^2} = \frac{w_1X}{2} - \frac{wX^2}{2}$$

$$EI \frac{dY}{dX} = \frac{w_1X^2}{4} - \frac{wX^3}{6} + C_1$$

Para evaluar  $C_1$  aplicamos las condiciones a la frontera.

$$\frac{dY}{dX} = 0 \quad \text{donde: } X = \frac{1}{2}$$

$$C = -\frac{w_1^3}{24}$$

Sustituyendo en la ecuación (12) e integrando nuevamente.

$$EI y = \frac{w_1X^3}{12} - \frac{wX^4}{24} - \frac{w_1^3X}{24} + C_2 \quad (14)$$

Cuando  $X = 0$ ,  $Y = 0$  por lo tanto:

$$C_2 = 0$$

Sustituyendo en (14).

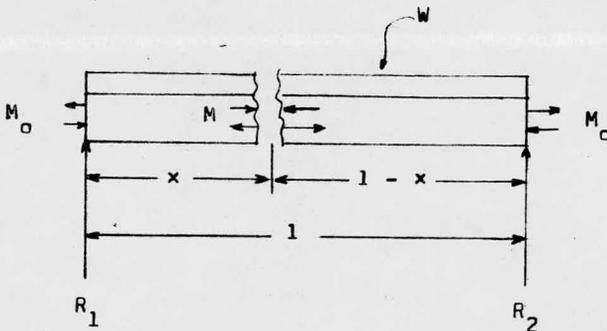
$$Y = \frac{1}{EI} \left( \frac{w_1 x^3}{12} - \frac{w_1 x^4}{24} - \frac{w_1^3 x}{24} \right)$$

La deflexión máxima ocurre en el centro del rango donde:

$$x = \frac{l}{2}$$

$$Y = \frac{5 w_1^4}{384 EI} ; \text{ Deflexión máxima.}$$

Vigas cargadas uniformemente, continuas.



Consideraremos una viga uniformemente cargada y continua-  
teniendo un gran número de soportes igualmente espaciados, ac-  
tuando de la misma manera que una viga uniformemente cargada -  
con extremos fijos. Se considera que la viga tiene una se----

cción continua, con un gran número de soportes igualmente espaciados, una distancia "l". Sobre los soportes existe un momento flexionante  $M_0$ .

Efectuando una suma de momentos a una distancia X del apoyo  $R_1$  obtenemos:

$$M = M_0 + R_1 X - WX \left(\frac{X}{2}\right)$$

$$\text{como: } R_1 = \frac{Wl}{2}$$

Para una viga con extremos fijos:

$$EI \frac{d^2 Y}{dX^2} = M \quad (15)$$

Sustituyendo para M y  $R_1$ , obtenemos:

$$M = EI \frac{d^2 Y}{dX^2} = M_0 + \frac{WlX}{2} - \frac{WX^2}{2} \quad (16)$$

Integrando:

$$EI \frac{dY}{dX} = M_0 X + \frac{WlX^2}{2} - \frac{WX^3}{6} + C_1$$

Aplicando condiciones a la frontera:

$$\frac{dY}{dX} = 0 \quad \text{Cuando } X = 0 ; \quad C_1 = 0$$

Por tanto:

$$EI \frac{dY}{dX} = M_0 X + \frac{WlX^2}{2} - \frac{WX^3}{6} \quad (17)$$

También tenemos:

$$\frac{dY}{dX} = 0 \quad \text{Cuando } X = l$$

Por tanto:

$$M_0 = -\frac{w_1^2}{12} \quad (\text{momento máximo para cargas uniformemente repartidas con extremos fijos.}) \quad (18)$$

Sustituyendo en la ecuación (16).

$$M = EI \frac{d^2Y}{dX^2} = -\frac{w_1^2}{2} + \frac{w_1X}{2} - \frac{wX^2}{2} \quad (19)$$

El momento flexionante en el centro del tramo en consideración donde:  $X = \frac{1}{2}$  es:

$$(M)_{1/2} = \frac{w_1^2}{24} \quad (20)$$

De las ecuaciones (18) y (20) se deduce que el momento flexionante máximo ocurre sobre el soporte como se definió en la ecuación (18).

La deflexión máxima de la viga se observa que ocurre a  $X = 1/2$  y puede obtenerse sustituyendo de la ecuación (18) en la ecuación (17), integrando y evaluando la nueva constante de integración,  $C_2$ .

$$EI y = -\frac{w_1^2 X^2}{24} + \frac{w_1 X^3}{12} - \frac{wX^4}{24} + C_2$$

Como:

$$Y = 0 \quad \text{a} \quad X = 0$$

Tenemos:

$$C_2 = 0$$

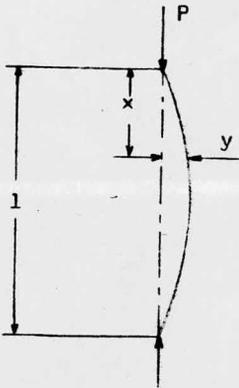
Sustituyendo y resolviendo para "Y" donde  $X = \frac{1}{2}$  obtenemos:

$$Y = - \frac{Wl^4}{384 EI} ; \text{Deflexión máxima} \quad ( 21 )$$

Esfuerzos en columnas.

Los miembros estructurales delgados bajo compresión axial tienden a flexionarse, esta deformación resulta del esfuerzo flexionante y del esfuerzo de compresión.

Según la siguiente figura tenemos que la fuerza axial  $P$  causa una deflexión " $Y$ " en la columna de longitud  $l$  y sección transversal  $A$ .



El momento flexionante  $M$  induce un momento flexionante igual a  $Mc/I$ , el cual se suma al esfuerzo de compresión  $P/a$ , o:

$$f = \frac{Mc}{I} + \frac{P}{a} = \frac{Pyc}{I} + \frac{P}{a}$$

Por definición.

$$I = Ar^2 ; \quad r = \text{radio de giro.}$$

Por tanto tenemos:

$$f = \frac{P}{a} \left( 1 + \frac{Y_c}{r^2} \right) \quad ( 22 )$$

La columna puede compararse a una viga cargada uniformemente - con extremos libremente soportados.

$$f = \frac{M_c}{I} ; \quad M = \frac{Wl^2}{8} ; \quad Y = \frac{5 Wl^4}{384 EI}$$
$$Y_c = \frac{5 Wl^4}{384 EI} \quad \frac{8 If}{Wl^2} = \frac{5 l^2 f}{48 E} = C_1 l^2 \quad ( 23 )$$

Como  $C_1$  es constante, para una columna el producto  $Y_c$  varía -- con  $l^2$ , como en el caso de una viga:

$$Y_c = C_2 l^2$$

Sustituyendo la cantidad  $C_2 l^2$  por  $Y_c$  en la ecuación (23) y resolviendo para  $P/a$  obtenemos:

$$\frac{P}{a} = \frac{f}{1 + C_2 \left( l^2 / r^2 \right)} \quad ( 24 )$$

Donde:

$C_2$  = Constante que depende del material, método de carga y del método de soporte. Se determina experimentalmente.

Rankine evaluó experimentalmente la constante para columnas circulares y cuadradas y encontró el valor de  $1/18000$  y  $1/36000$  respectivamente. Las columnas usualmente se diseñan - como miembros con extremos circulares. Para valores de  $l/r$  entre 60 y 200, se recomienda la siguiente ecuación para colum--

nas de acero.

$$\frac{P}{a} = \frac{18000}{1 + (l^2/18000r^2)} \quad ( 25 )$$

Para valores de  $l/r$  mayores a 200, se emplea la fórmula de --- Euler para columnas.

$$f = \frac{\pi^2 E}{l^2} r^2$$

Donde:

$E$  = módulo de elasticidad.

Espaciamiento de vigas.

Considerando un corte circunferencial de placa del techo de 1 in., localizada en la periferia del techo cónico, y despreciando el soporte ofrecido por el cuerpo, este corte se considera esencialmente como una viga plana, recta, continua con carga uniformemente repartida. El momento flexionante que controla es igual a  $Wl^2/12$  y ocurre sobre las vigas soporte. Según ecuación (18).

$$M_{\max} = \frac{-Wl^2}{12} = \frac{-p(l) l^2}{12} = \frac{-pl^2}{12} \quad ( 26 )$$

Donde:

$l$  = Longitud de la viga (del corte) entre vigas soporte, in.

$P$  = Carga unitaria,  $Lb/in^2$

Introduciendo el esfuerzo resultante de flexión por la ecuación:

$$f = \frac{M}{Z} \quad ( 27 )$$

Para una viga rectangular:

$$Z = \frac{bt^2}{6}$$

Donde:

b = Ancho de la viga, in.

t = Espesor de la viga, in.



Para el caso en que b = 1.0 in.

$$Z = \frac{t^2}{6} \quad ( 28 )$$

Sustituyendo la ecuación (28) y ecuación (24) en la ecuación - (27), tenemos:

$$f = \frac{pl^2}{2t^2}$$

$$l = t\sqrt{2 f/p} \quad ( 29 )$$

El número mínimo de vigas adyacentes al cuerpo se determina dividiendo la circunferencia del cuerpo entre el espaciamiento máximo de las vigas.

$$n_{\min} = \frac{2\pi r}{l}$$

Donde:

r = radio del tanque, in.

Selección de las vigas:

Se diseñan como vigas con carga uniformemente repartida - con extremos libres, soportando el peso de las placas y la carga del techo sobre un área que abarca desde un lado de la viga hasta la línea del centro de la viga adyacente de la ecuación-

(27) tenemos:

$$Z = \frac{M}{f}$$

Donde:

Z = módulo de sección de la viga, in<sup>3</sup>

M = momento flexionante máximo, in-Lb

f = esfuerzo de trabajo de la viga, Lb/in<sup>2</sup>

$$f = \frac{fd}{S}$$

Donde:

fd = esfuerzo de diseño, igual a 55000 Lb/in<sup>2</sup> para acero al --- carbón.

S = factor de seguridad, se considerará igual a 3.

Selección de columnas.

En las columnas ocurre una flexión lateral, y el esfuerzo de compresión máximo permisible no excederá 15000 psi, así el - esfuerzo puede calcularse por la ecuación (25).

Cálculo de las vigas del techo.

Espaciamiento de las vigas:

$$l = t \sqrt{2 f/p} = \frac{3}{16} \sqrt{\frac{2 \times 18000}{(25 + 7.65)/144}} = 74.7 \text{ in.}$$

El espaciamiento máximo de las vigas es 74.7 in., por tanto el número mínimo de vigas, se calcula dividiendo la circunferencia del cuerpo entre el espaciamiento máximo de las vigas.

$$n_{\min} = \frac{2\pi \times 17.5 \times 12}{74.7} = 17.7$$

Consideraremos;

$$n = 20$$

Por tanto.

$$l = \frac{2\pi \times 17.5 \times 12}{20} = 65.97 \text{ in.}$$

Tamaño de las vigas.

El diseño de las vigas se basa en el peso del techo más el peso de las vigas. Para un cálculo preliminar la carga de la viga se considerará uniforme y se tomará como la carga inducida por una placa del techo teniendo un ancho promedio de 4 1/2 ft. La carga viva se toma como 25 Lb/ft<sup>2</sup> y para placas de 3/16" el peso del techo, dando una carga total de diseño de 32.65 Lb/ft<sup>2</sup> o sea una carga de 0.227 psi. El techo tiene una pendiente de 3°.

Para vigas uniformemente cargadas con extremos soportados el momento flexionante máximo es, ecuación (13).

$$M_{\max} = \frac{wl^2}{8}$$

$$W = 0.227 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} \times (4.5 \times 12 \text{ in}) = 12.25 \text{ Lb/in de techo cargado.}$$

$$l = 17.52 \text{ ft} = 210 \text{ in.}$$

$$M_{\max} = \frac{(12.25 \text{ Lb/in})(210 \text{ in})^2}{8}$$

$$M_{\max} = 67683 \text{ in-Lb}$$

$$Z = \frac{M}{f} = \frac{67683 \text{ in-Lb}}{18000 \text{ Lb/in}^2} = 3.76 \text{ in}^3 = 61.62 \text{ cm}^3$$

Consultando el manual de Monterrey, para una viga de perfil en-I con peralte de 127 mm y módulo de sección de  $79.3 \text{ cm}^3$ .

El peso de la viga es: 14.88 Kg/m

$$W = 0.8332 \text{ Lb/in.}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{(0.8332 \text{ Lb/in} + 12.25 \text{ Lb/in})(210 \text{ in})^2}{8}$$

$$M_{\text{max}} = 72121 \text{ in-Lb}$$

$$Z = \frac{72121 \text{ in-Lb}}{18000 \text{ Lb/in}^2} = 4.0 \text{ in}^3 = 65.7 \text{ cm}^3$$

La viga elegida es satisfactoria.

Selección de la columna central.

$$\text{Longitud} = 36.92 \text{ ft}$$

Esta columna soporta el peso de las vigas, de las placas del techo.

El radio de giro mínimo de la sección de la columna es una función de la longitud de la columna, si la relación  $l/r$  no excede 180, el radio de giro mínimo es:

$$\frac{l}{r} = 180$$

$$r = \frac{l}{180} = \frac{36.92 \times 12}{180} = 2.46 \text{ in.}$$

$$r = 2.46 \text{ in} = 6.25 \text{ cm}$$

Considerando una combinación de dos canales, con las siguientes características:

Canal vertical:

tamaño ; peralte de 8"

peso ; 11.5 Lb/ft

Canal horizontal:

tamaño ; peralte 10"

peso ; 15.3 Lb/ft

Combinación.

área total  $7.83 \text{ in}^2$

radio de giro, eje X ; 3.11 in.

radio de giro, eje Y ; 2.95 in.

peso ; 26.8 Lb/ft

El esfuerzo de compresión permisible para la columna se calcula mediante la ecuación (25).

$$f = \frac{18000}{1 + \frac{(443.04)^2}{(18000)(3.11)^2}} = 8461 \text{ Lb/in}^2$$

El esfuerzo real inducido es:

$$f = \frac{p}{a} = \frac{(.8332 + 12.25) \times 210 \times 20 + 26.8 \times 12}{7.83}$$

$$f = 7059 \text{ Lb/in}^2$$

La columna es satisfactoria y el radio de giro es el controlante.

##### 5.- Cálculo del Serpentin de Calentamiento.

En los tanques de almacenamiento de aceite en la interfase agua-aceite se forma una emulsión agua-aceite-lodo, la cual se logra separar mediante calentamiento y agregando un desemulsificante. Los mejores resultados se han obtenido a las siguientes

condiciones:

Temperatura 80°C

Desemulsionante, "TETROLITE", 150 ppm

El calentamiento se efectuará mediante vapor de media, -- 18 Kg/cm<sup>2</sup> a 290°C. El aceite antes de pasar a los tanques de almacenamiento se calentará a 80°C en un cambiador de calor. El vapor se pasa por el serpentín de calentamiento del tanque de donde sale saturado y pasa al calentador.

El aceite en el tanque se reposará 24 horas a 80°C, como el aceite llega aproximadamente a 80°C, el calor que se suministra será para compensar las pérdidas de calor. El calentamiento se efectuará mediante un haz de tubos de 2 in. IPS y una longitud de 16 ft, las dimensiones del tanque son:

Diámetro 35 ft

Altura 36 ft

Pérdidas de Calor en el Tanque.

a) Por Convección al Aire.

El coeficiente de convección libre al aire estará entre:

$hc = .3 \Delta t^{0.2}$  y  $hc = .2 \Delta t^{0.25}$  para toda la superficie del tanque:

Consideraremos el valor mayor de hc.

$$hc = 0.3 \Delta t^{0.25}$$

$$hc = 0.3(99)^{0.25} \text{ BTU/(h)(ft}^2\text{)}(^{\circ}\text{F)}$$

$$hc = 0.95 \text{ BTU/(h)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)}$$

b) Pérdidas por radiación.

$$hc = \frac{0.173 \epsilon [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4]}{T_1 - T_2}$$

$$T_1 = 176^\circ\text{F} + 460 = 636^\circ\text{R}$$

$$T_2 = 77^\circ\text{F} + 460 = 537^\circ\text{R}$$

$$\epsilon = 0.8$$

$$hr = 1.12 \text{ BTU/(h)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)}$$

Pérdidas combinadas.

$$hc + hr = 2.07 \text{ BTU/(h)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)}$$

Area total del tanque.

$$A = \frac{\pi}{2} (D^2) + \pi DH, \text{ ft}^2$$

$$A = \frac{\pi}{2} (35)^2 + \pi(35)(36)$$

$$A = 5883 \text{ ft}^2$$

$$Q = (hc + hr) A \Delta t$$

$$Q = 2.07 \frac{\text{BTU}}{\text{h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}} \times 5883 \text{ ft}^2 \times 99 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$Q = 1205603 \text{ BTU/h}$$

Vapor a  $256 \text{ Lb/in}^2$ ,  $554 \text{ }^\circ\text{F}$

La saturación del vapor ocurrirá a  $404 \text{ }^\circ\text{F}$

Propiedades del líquido a almacenar.

$$^{\circ}\text{API} = 31.7$$

Densidad 52.721 Lb/ft<sup>3</sup> a  $t_a$

$$t_a = \frac{77^{\circ}\text{F} + 176^{\circ}\text{F}}{2} = 127^{\circ}\text{F}$$

La cantidad de vapor necesario será:

$$Q = m c_p \Delta t$$

$$Q = 1205603 \text{ BTU/h}$$

$$\Delta t = 554^{\circ}\text{F} - 404^{\circ}\text{F} = 150^{\circ}\text{F}$$

El  $C_p$  del vapor a la temperatura promedio (479  $^{\circ}\text{F}$ ) será:

$$C_p = 0.47 \text{ BTU/Lb } ^{\circ}\text{F}$$

$$m = \frac{Q}{C_p \Delta t} = \frac{1205603 \text{ BTU/h}}{0.47 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb } ^{\circ}\text{F}} \times 150^{\circ}\text{F}} = 171000 \text{ Lb/h}$$

Cálculo del área de calentamiento de los tubos.

$$h_c = 116 \left[ \frac{k^3 \rho^2 C_p \beta}{\mu'} \left( \frac{\Delta t}{d_o} \right) \right]^{0.25}$$

Todas las propiedades están a la temperatura media de la película, ( $t_f$ ).

$$t_f = 327^{\circ}\text{F}$$

Cálculo del factor de caracterización del aceite (método UOP -- 375).

$$\left. \begin{array}{l} \rho_{API} = 31.7 \\ \text{Visc. } 37.8 = 7.97 \text{ cst} \end{array} \right\} F_c = 11.9$$

Corrigiendo el  $C_p$  con  $F_c$ .

$$C_p = 0.595 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb } ^\circ\text{F}} \times 1.01 = 0.6000 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb } ^\circ\text{F}}$$

$$k = 0.0715 \frac{\text{BTU}}{\text{h ft}^2 (^\circ\text{F}/\text{ft})}$$

$$\rho = 48.02 \text{ Lb}/\text{ft}^3$$

$$\mu' = 0.916 \text{ Centipoise.}$$

$$\frac{\Delta t}{d_o} = \frac{303}{2.38} = 127.3$$

$$\beta = \frac{S_1^2 S_2^2}{2 (t_2 - t_1) S_1 S_2} \frac{1}{^\circ\text{F}}$$

$$t_1 = 176 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 479 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Gravedad específica a  $t_1$ , ( $S_1$ ) = 0.820

Gravedad específica a  $t_2$ , ( $S_2$ ) = 0.710

$$\beta = 0.00047/^\circ\text{F}$$

$$h = 116 \left[ \left( \frac{k^3 \rho^2 C_p \beta}{\mu} \right) \left( \frac{\Delta t}{d_o} \right) \right]^{0.25}$$

$$h = 116 \left[ \frac{.0715^3 \times 48.02^2 \times 0.60 \times .00047}{0.916} \times 127.3 \right]^{0.25}$$

$$h = 49.4 \text{ BTU}/\text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Considerando un factor de obstrucción,  $R_d$ , de  
 $R_d = 0.02 \text{ hft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}/\text{BTU}$

Tenemos:

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{1500 \times 49.4}{1500 + 49.9} = 47.8 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$U_D = \frac{U_c \times 1/R_d}{U_c + 1/R_d} = 24.4 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Superficie total:

$$A = \frac{Q}{U_D \Delta t}$$

$$A = \frac{1205603 \text{ BTU/h}}{24.4 \frac{\text{BTU}}{\text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} (479 - 176) ^\circ\text{F}} = 163.1 \text{ ft}^2$$

Los tubos se arreglarán en horquillas:

$$\text{Área/tubo, } A_t = 0.622 \frac{\text{ft}^2}{\text{ft}} \times 16 \text{ ft} = 9.95 \text{ ft}^2/\text{tubo}$$

los cabezales de entrada y salida serán de 2 in. de diámetro y de 8 ft de longitud, o sea que tendrán un área de:

$$\text{Area} = .622 \frac{\text{ft}^2}{\text{ft}} \times 8 \text{ ft} = 4.976 \text{ ft}^2$$

$$\text{Área de los dos cabezales} = 4.976 \times 2 = 9.95 \text{ ft}^2$$

$$\text{Área de horquillas} = 163.1 \text{ ft}^2 - 9.95 \text{ ft}^2 = 153.15 \text{ ft}^2$$

$$\text{número de horquillas} = \frac{153.15}{9.95 \times 2} = 7.69 = 8$$

Se tendrán 8 horquillas.

F) Especificación del Ejector para el Manejo de los Lodos ---  
Depositados en el Separador.

Los lodqs se extraerán del fondo del separador por medio-  
de un ejector que funciona con vapor, (fluido motor).

Para el manejo de los lodos se contará con dos eyectores-  
uno por cada siete celdas del separador.

Datos:

Flujo/celda = 2271 l/h

Densidad = 1.518 g/ml

Aceite = 0.562 % en peso.

El vapor disponible es de  $18 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

$$18 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} \times \frac{(2.54 \text{ cm})^2}{1 \text{ in}^2} = 255 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

El modelo seleccionado es el GL, con una cabeza de 1 ft/3  
psig de presión de operación.

Flujo a bombear:

$$2271 \frac{\text{l}}{\text{h}} \times 7 = 15897 \text{ l/h} = 70 \text{ GPM}$$

elevación de la succión; - 10.5 ft

Presión del vapor; 200 psig

Temperatura líquido a succionar; 77°F

Cabeza de descarga; 9 ft

Consultando las tablas para seleccionar el ejector tenemos:

Con el tamaño  $1 \frac{1}{2}$ " GL; tendremos una capacidad de bombeo de 46 GPM, o sea que es baja la capacidad de bombeo, considerando el siguiente tamaño tendremos;

Para el tamaño GL - 2, tenemos un factor capacidad de 1.82 por tanto tendremos una capacidad de bombeo de;

$$46 \times 1.82 = 83.7 \text{ GPM}$$

Con un consumo de vapor de

$$616 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \times 1.82 = 1121 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Dimensiones del eyector GL - 2

$$A = 14 \frac{3}{8} \text{ in}$$

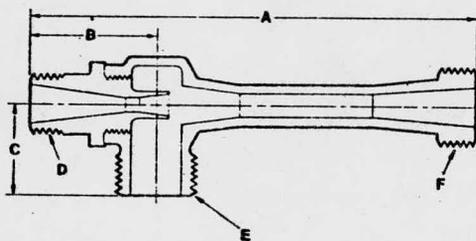
$$B = 3 \frac{1}{8} \text{ in}$$

$$C = 3 \text{ in}$$

$$D = 1 \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$E = 2 \text{ in}$$

$$F = 2 \text{ in}$$



Con un tamaño máximo de partícula del fluido manejado de: ---  
0.756 in.

V.- ANALISIS Y BALANCE ACTUAL Y FUTURO DE CORRIENTES.

A) Balance Futuro de Corrientes.

1.- Estimación del Funcionamiento del Separador.

Calidad del efluente:

Con la relación  $\frac{A_s}{Q_m}$  y con  $S_o$  de la fig. 3 se estima la concentración de aceite del efluente.

$A_s$  = Area superficial,  $ft^2$

$Q_m$  = Flujo volumétrico,  $ft^3/min$

$S_o$  = Gravedad específica del aceite.

$$\frac{A_s}{Q_m} = \frac{550 \text{ ft}^2}{28.64 \text{ ft}^3/min} = 19.20 \text{ ft}^2/\text{ft}^3/min$$

$$S_o = 0.862$$

De la fig. 3 tenemos que la concentración de aceite en el efluente será aproximadamente 35 ppm.

2.- Cálculo de la Velocidad de Elevación de las Partículas de Aceite en el Agua Residual.

$$V = \frac{g}{12 \mu} (\rho_w - \rho_o) D^2$$

Considerando un diámetro de las partículas de 150 micras.

$$V = 0.0241 \frac{(S_w - S_o)}{\mu} = 0.0241 \frac{(0.992 - 0.862)}{0.0065} = 0.48 \frac{ft}{min}$$

$$V = 0.48 \frac{ft}{min} \times \frac{.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} = 0.15 \text{ m/min}$$

3.- Cálculo de la Velocidad de Inundación ( $V_0$ ).

$$V_0 = \frac{Q_m}{A_s} = \frac{1}{19.20} = 0.052 \frac{\text{ft}}{\text{min}} \times \frac{.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} = 0.016 \text{ m/min}$$

Todas las partículas con una velocidad de elevación mayor o --- igual a .016 m/min se separarán.

4.- Balance de Materia en una Celda.

Análisis del agua residual alimentada a la celda.

Contenido de aceite = 5.9 % vol.

Lodos sedimentables = 3.3 ml/l

$S_w = 0.992$

Temperatura = 30°C (86°F)

Viscosidad, = 0.65 Centipoise

Gasto volumétrico = 214.28 GPM

Análisis del aceite recuperado.

$^{\circ}\text{API} = 31.7$

$S_o = 0.862$

Viscosidad, 100°F = 52 SSU

Análisis de los lodos.

Densidad 1.518 g/ml

Contenido de aceite 0.562 % peso

Agua efluente:

Aceite 35 ppm

Bases: Balance en volumen, tiempo 1 Hr.

Balance total.

$W = S + O + R$

( 1 )

Donde:

R = Volumen de agua, salida del separador.

W = Volumen de agua residual que entra a la celda.

O = Volumen de aceite recuperado.

S = Volumen de lodos depositados en el fondo de la celda.

Balance de agua.

$$WX_w = SX_s + OX_o + RX_r \quad ( 2 )$$

Donde:

X = % vol. de agua en la corriente respectiva.

Balance de aceite.

$$WY_w = SY_s + OY_o + RY_r \quad ( 3 )$$

Donde:

Y = % en volumen de aceite, en cada corriente.

Balance de sólidos.

$$WZ_w = SZ_s + OZ_o + RZ_r \quad ( 4 )$$

Donde:

Z = % en volumen de sólidos.

Tenemos un volumen de agua residual a la entrada de la celda --  
de 48664.28 l

$$W = 48664.28 \text{ l}$$

$$WY_w = 48664.28 \text{ l} \times .059 = 2871.19 \text{ l}$$

$$WZ_w = 48664.28 \text{ l} \times 3.3 \frac{\text{ml}}{\text{l}} \times \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} = 160.59 \text{ l}$$

$$WX_w = W - (WY_w + WZ_w)$$

$$WX_w = 48.664.28 - (2871.19 + 160.59) = 45632.5 \text{ l}$$

Considerando despreciable el volumen de agua emulsionada en el aceite recuperado y en los sólidos depositados, la ecuación (2) se reduce a:

$$WX_w = SX_s + DX_o + RX_R$$

$$WX_w = RX_R$$

$$WX_w = RX_R = 45632.5 \text{ l}$$

$$RY_R = 45632.5 \text{ l} \times 35 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} \times \frac{1}{.862} = 1.85 \text{ l}$$

Considerando que todos los sólidos sedimentables se van al fondo de la celda tenemos;

$$WZ_w = SZ_s$$

$$WZ_w = 48664.28 \text{ l} \times 3.3 \frac{\text{ml}}{\text{l}} \times \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} = 160.59 \text{ l}$$

El contenido de aceite en los sólidos depositados es 0.562 % -- peso = 0.995 % vol.

$$SY_s = 160.59 \text{ l} \times .00995 = 1.60 \text{ l}$$

Sustituyendo en la ecuación (3)

$$WY_w = SY_s + OY_o + RY_R$$

$$OY_o = 2871.19 \text{ l} - (1.6 + 1.85) \text{ l} = 2867.74 \text{ l}$$

$$\text{Aceite recuperado} = 2867.74$$

Volumen total de aceite recuperado, de la ecuación (1).

$$W = S + O + R$$

$$O = W - (S + R) = 48664.28 - (160.59 - 45632.5)$$

$$O = 2871.19 \text{ l}$$

Composición de cada corriente, salida del separador.

Agua residual, W, 6813000 l/h

40197 l/h aceite

638855 l/h agua

2248 l/h lodos

Aceite recuperado, o, 40148 l/h

40148 l/h aceite

— 1/h agua

— 1/h lodos

Agua recuperada, R, 638881 l/h

26 l/h aceite

638855 l/h agua

— 1/h lodos

Lodos depositados, S, 2271 l/h

23 l/h aceite

— 1/h agua

2248 l/h lodos

Eficiencia del separador,  $\epsilon$

$$\epsilon = 100 - \frac{\text{aceite agua recuperada}}{\text{aceite agua salida}} = 100 - \frac{26}{40197} \times 100 = 99.9 \%$$

B) Análisis y Balance Actual de Corrientes.

Análisis del agua aceitosa. (entrada separador No. 1)

Contenido de aceite 5.9 % vol.

Lodos sedimentables 3.3 ml/l

Temperatura 30°C

Viscosidad 0.65 Centipoise

Gravedad específica 0.992

Análisis del aceite recuperado.

Sólidos 2 % vol.

Agua 15 % vol.

Aceite 83 % vol.

°API 31.7

Sgr. = 0.862

Visc. 37.8°C = 52 SSU = 7.97 cst = 6.885 Centipoise.

Análisis de lodos.

Densidad 1.518 g/ml

Aceite 0.562 % peso.

Análisis del agua recuperada (salida separador No. 1)

Contenido de aceite 717 ppm

Contenido de lodos sedimentables 1.1 ml/l

Sgr, = 0.995

Balance de materia.

Considerando un flujo de 1800 GPM = 408780 l/h

balance en volumen.

BASE: 1 HORA

Balance total

$$W = S + O + R$$

Donde:

W = gasto de agua a la entrada.

S = lodo depositado.

O = aceite recuperado.

R = agua a la salida del separador.

Balance de agua.

$$WX_w = SX_s + OX_o + RX_r \quad (6)$$

Donde:

X = % en volumen de agua en cada corriente.

Balance de aceite.

$$WY_w = SY_s + OY_o + RY_r \quad (7)$$

Donde:

Y = % en volumen de aceite, en cada corriente.

Balance de sólidos.

$$WZ_w = SZ_s + OZ_o + RZ_r \quad (8)$$

Donde:

Z = % en volumen de sólidos.

El flujo de agua residual a la entrada es 408780 l

$$W = 408780 \text{ l}$$

$$Y_w = 0.059$$

$$WY_w = 408780 \text{ l}(0.059) = 24118 \text{ l}$$

$$Z_w = 3.3 \frac{\text{ml}}{\text{l}} \times \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} = 0.0033$$

$$WZ_w = 408780 \text{ l}(0.0033) = 1349 \text{ l}$$

De las cuatro ecuaciones anteriores se deduce:

$$W = WX_w + WY_w + WZ_w$$

$$WX_w = W - (WY_w + WZ_w)$$

$$WX_w = 408780 \text{ l} - (24118 + 1349)\text{l} = 383313 \text{ l}$$

Aceite en el efluente 717 ppm = 0.083 % vol.

$$Y_R = 0.00083$$

Lodos en el efluente = 1.1 ml/l = 0.11 % vol.

$$Z_R = 0.0011$$

$$X_R = 1 - (Y_R + Z_R) = 1 - (0.00083 + 0.0011) = 0.99807$$

Aceite en los lodos = 0.562 % peso = 0.989 % vol.

$$Y_S = 0.00989$$

Considerando despreciable el contenido de agua en los lodos:

$$X_S = 0$$

$$SX_S = 0$$

$$Z_S = 1 - (X_S + Y_S) = 1 - (0 + 0.00989)$$

$$Z_S = 0.99011$$

El contenido de agua en el aceite recuperado es 0.3 % vol. por tanto:

$$X_o = 0.003$$

Lodo en el aceite recuperado 0.042 % vol. por tanto:

$$Z_o = 0.0004$$

$$Y_o = 1 - (.003 + .0004) = 0.9966$$

Sustituyendo en las ecuaciones 5-e a 5-h:

$$408780 \text{ l} = S + (0) + R$$

$$383313 \text{ l} = 0 + 0.003(0) + 0.99807 R$$

$$24118 \text{ l} = .00989 S + .9966(0) + 0.00083 R$$

$$1349 \text{ l} = 0.99011 S + 0.0004(0) + 0.0011 R$$

Resolviendo estas ecuaciones tenemos:

$$R = 383983 \text{ l}$$

$$0 = 23871 \text{ l}$$

$$S = 926 \text{ l}$$

Composición de cada corriente.

Agua residual, W, 408780 l/h

24118 l/h aceite

383313 l/h agua

1349 l/h lodos

Aceite recuperado, O, 23871 l/h

23790 l/h aceite

72 l/h agua

9 l/h lodos

Agua recuperada, R, 383983 l/h

319 l/h aceite

383241 l/h agua  
423 l/h lodos

Lodos depositados, S, 926 l/h  
9 l/h aceite  
917 l/h lodos.

## Descripción del Proceso de Recuperación de Aceite.

El proceso de separación de aceite se efectúa en su mayor parte en el separador de aceite, siendo la parte principal de éstos los paquetes de placas (CPI). El agua residual antes de entrar al separador pasará por un cárcamo regulador de flujo, controlando el flujo al separador de placas mediante la compuerta de entrada a las mallas de retención que deberá cerrarse en caso de lluvia, o al ocurrir un aumento de caudal en la medida que se requiera el gasto normal del separador. Las mallas de retención como ya se mencionó tiene una compuerta a la entrada la cual regula el gasto al separador; a la salida tiene otra compuerta que debe mantenerse abierta en operación normal. La operación del separador incluye los siguientes pasos:

### 1.- Alinear válvulas.

abiertas: Salida de mallas.

Salida del separador.

cerradas: Entrada de mallas.

Todas las entradas a las celdas.

### 2.- Iniciar operación.

a) Abrir toda la entrada a la celda No. 1

b) Empezar a abrir la entrada a mallas vigilando los derrames de agua y aceite.

El caudal que puede aceptarse en el separador está limitado por la capacidad de las bombas aceiteras y por la capacidad de flujo de las celdas (máximo 300 GPM/paquete). El límite de aceite se observa directamente en el cárcamo de aceite vigilando que las bombas mantengan el nivel. El límite del flujo se establece observando los derrames de agua y de aceite de la celda.

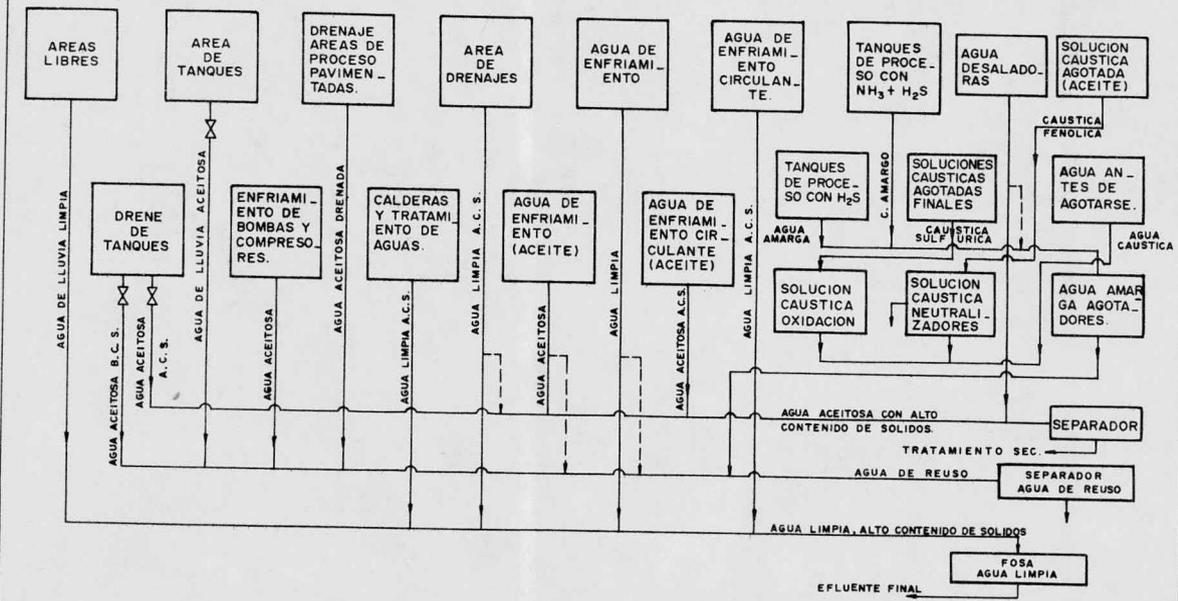
Los derrames de agua deben descargar a tubo lleno todos, seme-

jando un surtidor en forma de hongo. Si no se llenan los 4 derrames de agua, el derrame de aceite no ocurrirá indicando que le falta flujo a la celda.

Por el contrario si los cuatro derrames de agua descargan plenamente y el derrame de aceite arrastra mucha agua, o tiende a inundarse el vertedor de entrada, debe de procederse a abrir tantas celdas como se vaya requiriendo en el orden numérico progresivo.

El aceite recuperado en el separador fluye hacia los cárce mos de donde se bombea al tanque de control de flujo, este tanque tiene la función de regular el flujo de aceite que entra al cambiador de calor, además de que se separa parte del agua y lodos que arrastró el aceite. A continuación el aceite pasa por el cambiador de calor donde se calienta a la temperatura de tratamiento para romper la emulsión agua-aceite, el tensoactivo se agrega en la línea antes del cambiador. Posteriormente el aceite pasa a la torre separadora drenandose por el fondo agua y lodos y el aceite por la parte superior, finalmente se envía al tanque de aceite recuperado el cual esta provisto de un serpentín de calentamiento para mantener la temperatura del aceite y continúe la separación. El aceite que llega a este tanque después de los tratamientos anteriores llega con muy poca agua y lodo, evitandose así el ensuciamiento de los tanques de aceite recuperado. El tiempo de reposo del aceite en los tanques varía de acuerdo a la proporción de agua arrastrada con el aceite, una vez transcurrido este período se drena hasta que deja de salir agua, cuando el contenido de agua en el aceite sea menor a 0.6 % se bombea el aceite a reproceso.

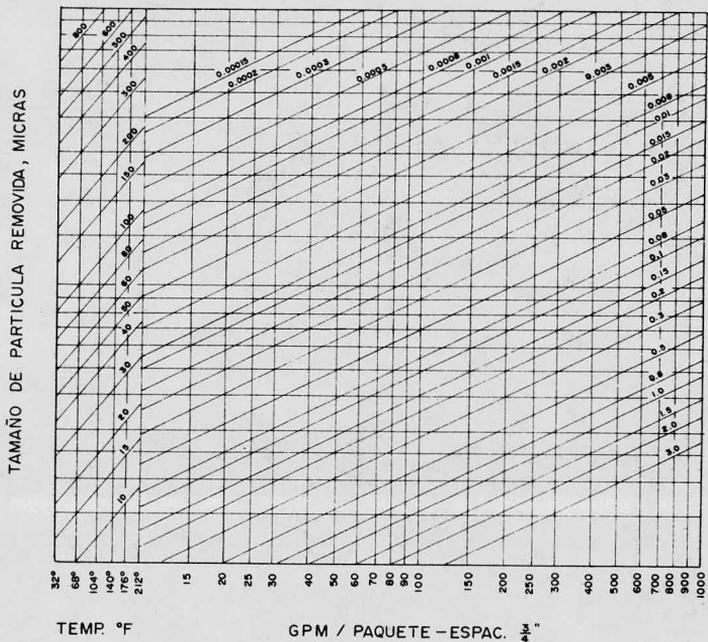
DIAGRAMAS Y GRAFICAS



ABREVIATURAS  
 B. C. S. = BAJO CONTENIDO DE SOLIDOS  
 A. C. S. = ALTO CONTENIDO DE SOLIDOS  
 C = CONDENSADO  
 SEC. = SECUNDARIO

FACULTAD DE QUIMICA	<b>U.N.A.M.</b>
<u>DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE SEGREGACION DE CORRIENTES</u>	
TESIS PROFESIONAL	FIG. No 1
ADELA CRUZ VILLAGOMEZ	

PARAMETRO, DIFERENCIA EN GRAVEDAD ESPECIFICA



FACULTAD DE QUIMICA

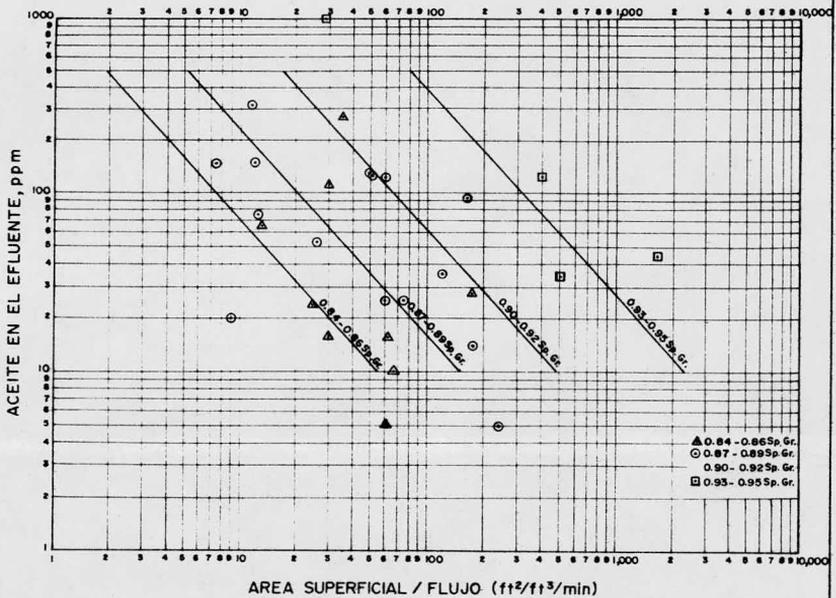
**U.N.A.M.**

GRAFICA PARA EL CALCULO DEL NUMERO  
DE PAQUETES DEL SEPARADOR

TESIS PROFESIONAL

ADELA CRUZ VILLAGOMEZ

FIG. No 2



FACULTAD DE QUIMICA

U.N.A.M.

GRAFICA PARA ESTIMAR EL CONTENIDO DE ACEITE  
EN EL EFLUENTE, A PARTIR DE FAC-  
TORES DE OPERACION

TESIS PROFESIONAL

FIG. No 3

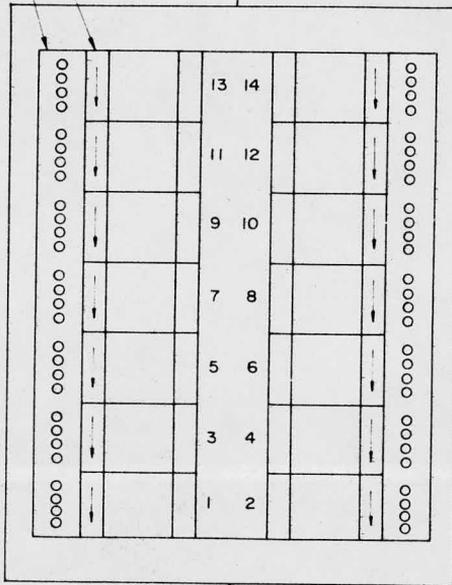
ADELA CRUZ VILLAGOMEZ



DERRAMES  
DE: ACEITE

DE: AGUA

SALIDA  
AGUA LIMPIA



ENTRADA  
AGUA RESIDUAL

FACULTAD DE QUIMICA

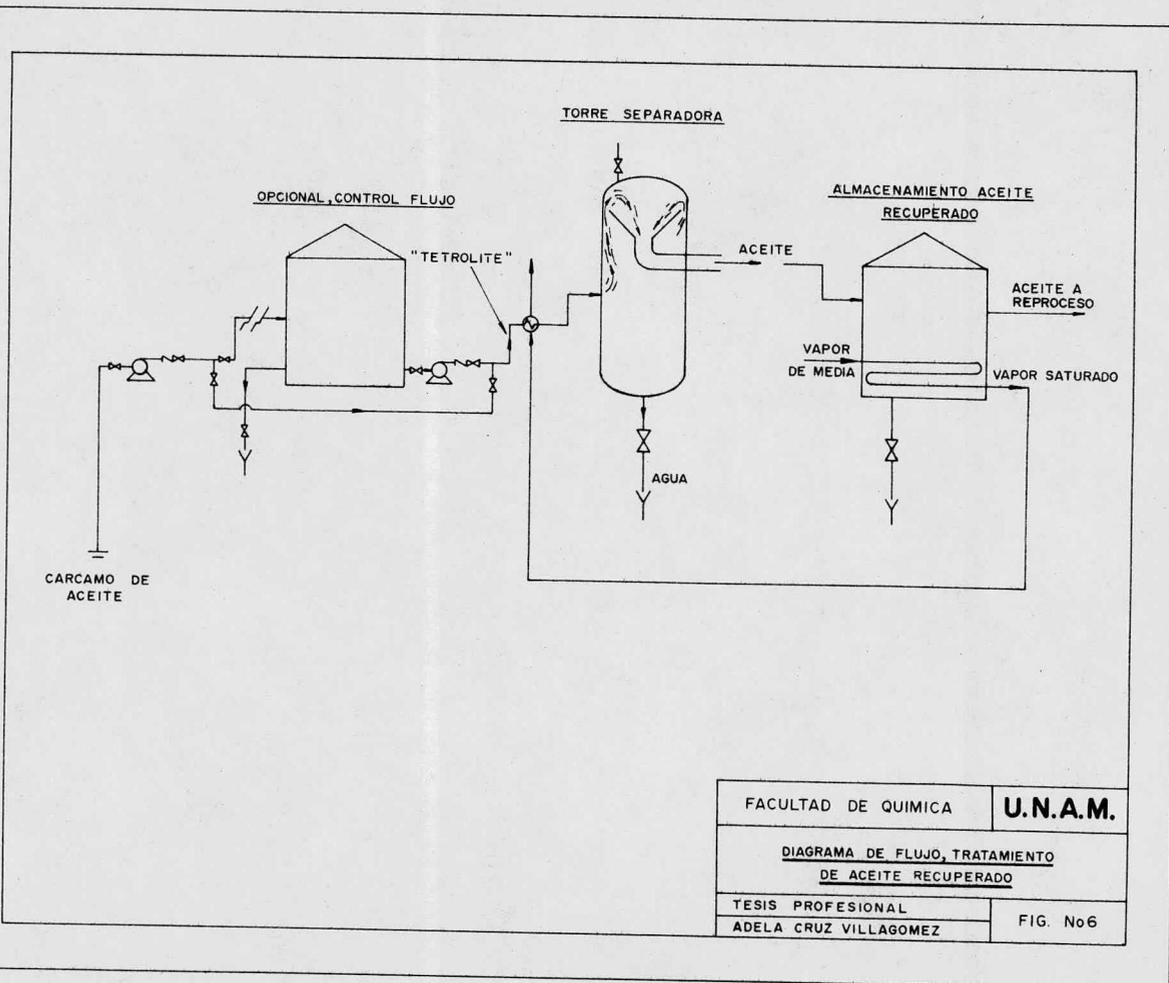
**U.N.A.M.**

DIAGRAMA DEL SEPARADOR

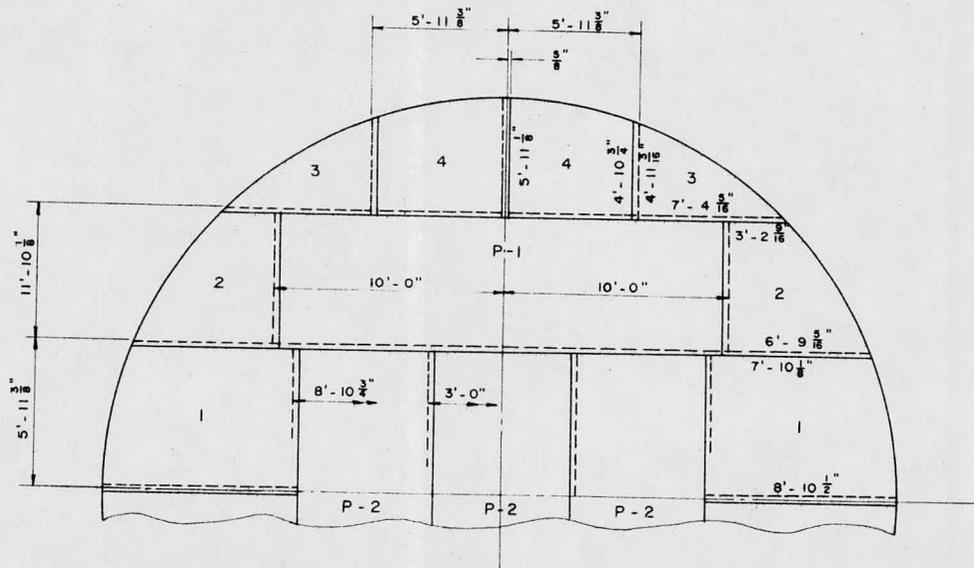
TESIS PROFESIONAL

ADELA CRUZ VILLAGOMEZ

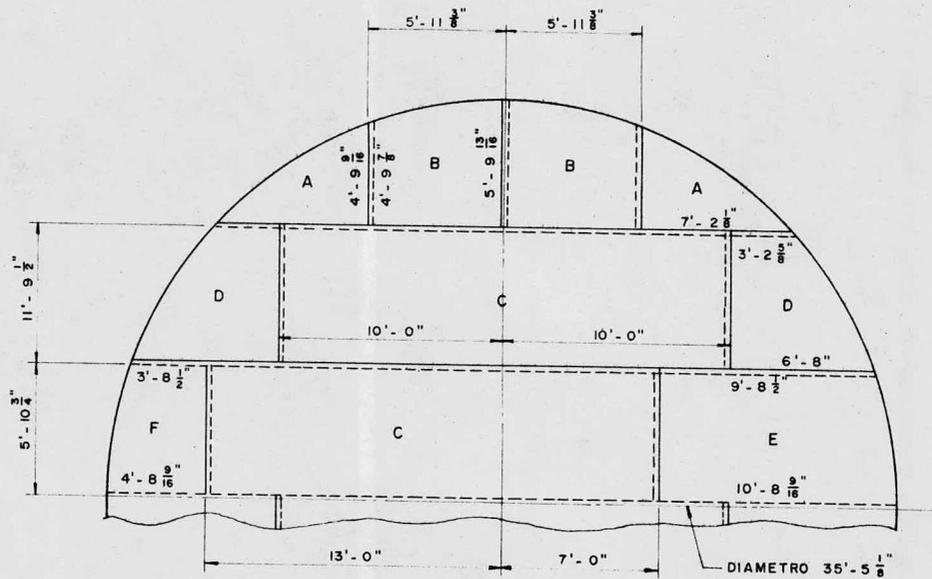
FIG. No 5



FACULTAD DE QUIMICA	<b>U.N.A.M.</b>
<u>DIAGRAMA DE FLUJO, TRATAMIENTO DE ACEITE RECUPERADO</u>	
TESIS PROFESIONAL	
ADELA CRUZ VILLAGOMEZ	FIG. No6



FACULTAD DE QUIMICA	<b>U.N.A.M.</b>
<u>PLACAS DEL FONDO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE RECUPERADO</u>	
TESIS PROFESIONAL	
ADELA CRUZ VILLAGOMEZ	
	FIG. No 7



FACULTAD DE QUIMICA

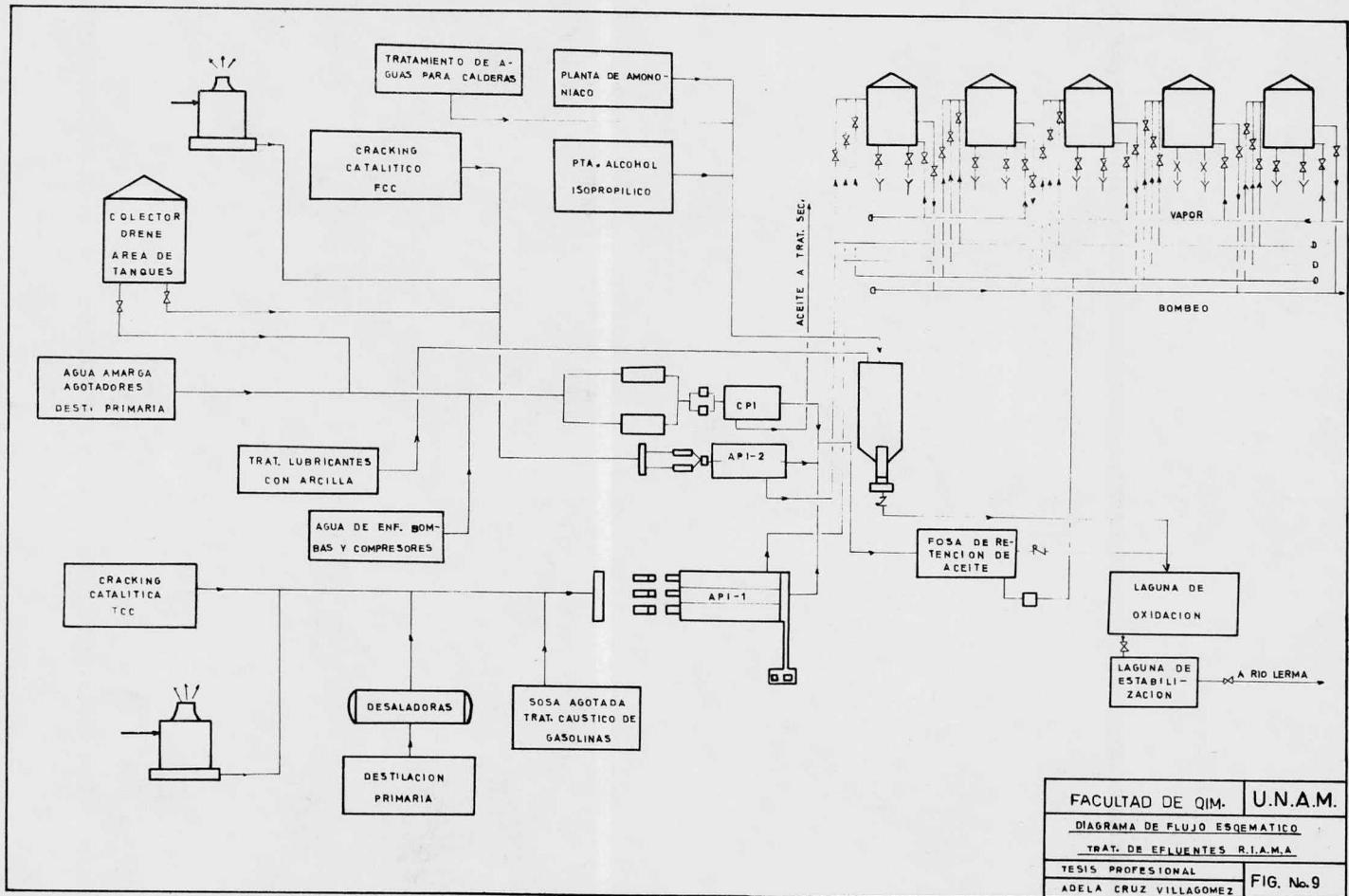
**U.N.A.M.**

PLACAS DEL TECHO DEL TANQUE DE  
ALMACENAMIENTO DE ACEITE RECUPERADO

TESIS PROFESIONAL

ADELA CRUZ VILLAGOMEZ

FIG. No 8



FACULTAD DE QIM.	U.N.A.M.
DIAGRAMA DE FLUJO ESQUEMATICO	
TRAT. DE EFLUENTES R.I.A.M.A.	
TESIS PROFESIONAL	FIG. No.9
ADELA CRUZ VILLAGOMEZ	

## BIBLIOGRAFIA

- API, Manual on Disposal of Refinery Wastes, volume on Liquid Wastes.
- A. Ramírez Z. y Q. Moreno L., Estudio Experimental de Separación de Aceite- Agua por Gravedad en Equipo Piloto. Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, julio de 1973.
- Boletín B-932 de Heil Process Equipment Company, Ohio U.S.A.
- Boletín para Especificación de Eyectores, Pumping Liquids -- Using Steam Operating Medium, Croll Reynolds Company, Inc. N.- Jersey U.S.A.
- Brownell and Young, Process Equipment Design, John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Boletín sobre Separadores de Aceite OPL 25A de General Electric
- Donald Q. Kern, Procesos de Transferencia de Calor. 9a. Impresión., Compañía Editorial Continental S.A. México, D.F.
- Eduardo Escobar A., Guía para Operadores de Separadores de Aceite, Refinería de Cadereyta.
- H. R. Jones, Waste Oil Recovery and Disposal, Pollution Technology Review No.4.
- H. R. Jones, Pollution Control in the Petroleum Industry 1973 - Pollution Technology Review No.20.
- Manual de Monterrey, Selección de perfiles de Vigas, Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, S.A, México, D.F.
- Milton R. Beychock, Aqueous Wastes from Petroleum and Petrochemical Plants, John W. and S.
- Robert C. Ewing, Shell Refinery Uses; the Oil and Gas Journal, march, 1971.
- S. J. Thomson, Data Improves Separator Design; Hydrocarbon Processing, oct. 1973.
- W. J. Racine, Plant Designed to Protect the Environment, Hydrocarbon Processing, march, 1972.
- Crane, Technical Paper No.410, Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe, Chicago Illinois. U.S.A.