



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"TRATAMIENTO DE ACEITE CRUDO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A :

MARIO ALBERTO HERNANDEZ PUENTE

CD. UNIVERSITARIA

1987



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 está 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.

CONTENIDO

	página
INTRODUCCION	1
I. EMULSIONES	5
I.1 Formación de las Emulsiones.	5
I.2 Factores que Afectan la Estabilidad de una Emulsión.	9
II. TRATAMIENTO DE LAS EMULSIONES	13
II.1 Procesos Previos al Tratamiento de las Emulsiones.	13
II.2 Procedimiento para Establecer el Proceso de Tratamiento.	19
II.3 Inyección de Reactivos Químicos.	24
II.4 Equipo de Inyección de Reactivos.	29
II.5 Calentamiento de las Emulsiones	33
II.6 Equipos Convencionales de Tratamiento de Emulsiones.	44
II.7 Deshidratación Electrostática.	49
II.8 Asentamiento.	53
III. DISEÑO DE EQUIPOS DE TRATAMIENTO DE ACEITE CRUDO	57
III.1 Aspecto Teórico.	60
III.2 Procedimiento de Diseño.	66
III.3 Ejemplos de aplicación.	69
IV. OPERACION DEL EQUIPO DE TRATAMIENTO	77
V. PROBLEMAS EN LA OPERACION DEL EQUIPO DE TRATAMIENTO	83
V.1 Problemas de Operación que Ocasionan Cambios de Nivel.	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91

C O N T E N I D O

	página
REFERENCIAS	94
APENDICE A	
METODO DE LABORATORIO PARA EVALUAR AGENTES QUIMICOS DESEMULSIFICANTES	96
A.1 Objetivos e Importancia de las Pruebas de Botella	97
A.2 Prueba de Botella.	100

INTRODUCCION

El tratamiento del aceite crudo es un término generalmente aplicado en la industria petrolera, y en especial dentro del área de -- producción, a la deshidratación y desalado del aceite crudo, con el objeto de satisfacer los requerimientos para su entrega a refinerías o cumplir con las especificaciones para su exportación; es to último con el fin de aumentar al máximo su valor comercial.

Cuando se menciona que el crudo debe cumplir con ciertas especificaciones, esto se refiere en particular al contenido de agua y -- sal en el aceite; en nuestro país, cuando el crudo se maneja en -- oleoductos los valores máximos permisibles son de 100 LMB* de sal y 1% de agua; en el caso de exportación o manejo en refinerías es tos valores son de 10 LMB y 0.1% de agua.

A primera vista parecería lógico pensar que separar el agua en diferentes localidades en el campo en vez de hacerlo en las refinerías, a donde finalmente es enviado el crudo, resulta económicamente inadecuado. Esto no es así, ya que si se transporta el aceite con agua hasta las refinerías, obviamente se incrementan los costos por este concepto y se reduce la capacidad de manejo del crudo. Además, el agua contenida en el aceite crudo es salada, lo -- cual la hace corrosiva y como consecuencia, llega a dañar al equipo de transporte como son las bombas y los mismos oleoductos.

* Libras masa de sal por cada 1000 barriles de aceite tratado.

También, como se verá posteriormente, mientras mayor tiempo transcorre para separar el agua del aceite, se agrava el problema de - las emulsiones, incrementándose los costos que se generan por el - tratamiento del crudo. Por otra parte, en ocasiones el agua sepa rada del aceite crudo en los campos es aprovechada in-situ para - procesos de recuperación secundaria.

En consecuencia, por las situaciones comentadas, resulta más con- veniente separar el agua del aceite en instalaciones localizadas en los campos petroleros, y después de haber efectuado este pro- ceso, transportar el aceite limpio hacia las refinerías, o bien a las terminales de almacenamiento y embarque para su exportación. El agua separada en los campos, deberá someterse a procesos de -- tratamiento antes de desecharla, esto para evitar problemas de con- taminación.

El objetivo principal de este trabajo es analizar los diferentes principios en que se fundamentan los equipos y procesos utiliza- dos para la remoción de agua libre, y del agua emulsionada en el aceite crudo. Asimismo, se describen cada uno de estos equipos y sus partes principales, considerando los diferentes aspectos teó- ricos en que se apoya su principio de funcionamiento.

Las principales etapas incluidas en el tratamiento del aceite cru- do son:

- 1.- Separación del gas liberado del aceite
- 2.- Eliminación del agua libre
- 3.- Adición de reactivos químicos, (desemulsificantes)
- 4.- Adición de calor
- 5.- Eliminación del gas liberado durante la separación del agua y el aceite
- 6.- Tiempo de asentamiento

Todas estas etapas en el proceso de tratamiento del aceite pueden ser efectuadas de diferente manera, dependiendo del equipo utilizado. Algunos de estos pasos pueden realizarse al mismo tiempo; sin embargo, este es el orden en que usualmente se lleva a cabo el proceso de tratamiento del aceite.

Un aspecto importante que se debe considerar, es que antes de llevar a cabo cualquier etapa para la separación del agua y el aceite crudo, exceptuando la adición de reactivos químicos, es necesario haber realizado el proceso de separación del aceite y el gas. Este proceso, por su importancia, se debe analizar de manera específica por lo que no se incluye en este trabajo.

En la Figura 1, se ilustra una instalación típica de manejo del aceite crudo. La corriente de aceite proveniente de varios pozos entra al sistema de separación de las fases líquida y gaseosa. El gas que sale por la parte superior de los separadores se envía al sistema de transporte. La corriente de líquidos formada por una mezcla de: aceite, agua libre y emulsión agua-acei

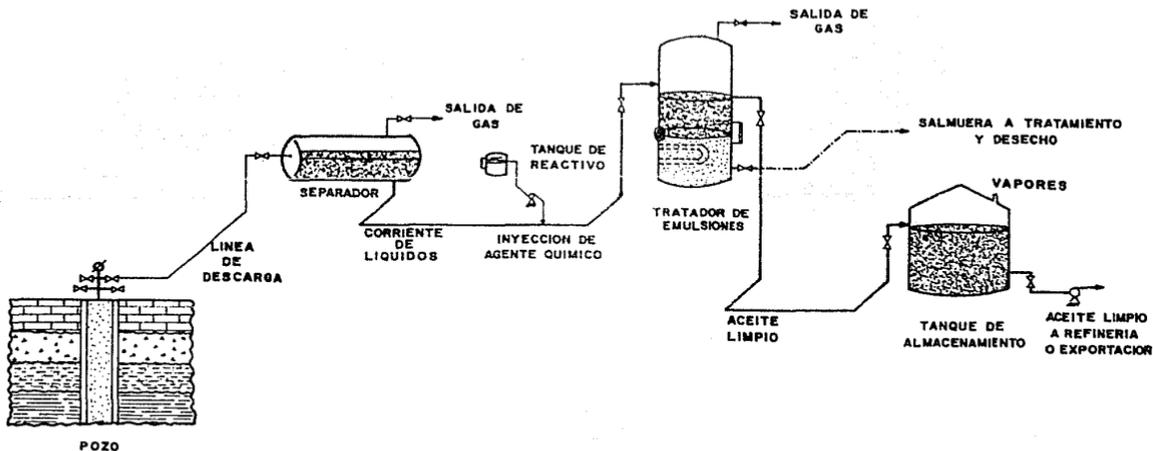


FIGURA 1

ESQUEMA DE UNA INSTALACION DE TRATAMIENTO DE ACEITE CRUDO

te, fluye hacia el sistema de tratamiento de emulsiones. De este sistema, el aceite limpio se envía hacia el tanque de almacenamiento y el agua separada fluye hacia otro sistema para su tratamiento y desecho.

Como se mencionó anteriormente, en el desarrollo de este trabajo se analizarán diferentes aspectos relacionados con la separación del agua y el aceite crudo, con la finalidad de que éste último satisfaga las especificaciones para su envío a refinerías o a exportación.

I. EMULSIONES

I.1 Formación de las Emulsiones.

Las emulsiones son mezclas de aceite y agua; éstas casi siempre están constituidas por partículas muy finas de agua dispersas o mezcladas en el aceite crudo, las cuales se vuelven estables por la presencia de algunos materiales contenidos en el aceite, conocidos como agentes emulsificantes o emulsionantes. La cantidad de partículas de agua dispersas en la emulsión, generalmente es menor al 10% del volumen total. Básicamente existen tres elementos necesarios para formar una emulsión agua en aceite:

- agua: es la fase interna o dispersa
- aceite: es la fase externa o continua
- agente emulsificante: estabiliza la dispersión de las partículas de agua en el aceite.

Ocasionalmente sucede que las partículas de aceite se encuentran dispersas en el agua que es la fase continua, a esto se le llama "emulsión inversa".

Por lo común las emulsiones no se presentan en la formación productora, sino que se generan cuando el aceite y el agua son producidos simultáneamente en presencia de un alto grado de agitación. Cuando el aceite y el agua fluyen del yacimiento hacia el fondo del pozo a través de las perforaciones en la tubería -

de revestimiento, se crean diferencias de presión relativamente grandes, las cuales originan una mezcla violenta del aceite y agua producidos, formándose así una emulsión.

Durante el ascenso de la emulsión por la tubería de producción se ocasiona más agitación y mezclado. Esto se intensifica por la liberación de burbujas de gas, debida a la reducción de presión que se tiene a medida que los fluidos ascienden a través de la tubería de producción. Al alcanzar la superficie, se presenta una agitación más violenta al pasar los fluidos a través del estrangulador. Todos estos efectos de agitación y mezclado del aceite y el agua producidos, los cuales generan y estabilizan las emulsiones, son más pronunciados en pozos que producen con sistemas artificiales como son el bombeo mecánico o el neumático.

En su apariencia, las emulsiones no parecen ser ni agua ni aceite; por ejemplo un aceite de color verde oscuro cuando se emulsifica, a menudo presenta una apariencia café pajiza. Generalmente la viscosidad de una emulsión es mucho más alta que la viscosidad del aceite o la del agua. En otras palabras, una emulsión es más espesa y no fluirá con la misma facilidad que lo haría el agua o el aceite en forma independiente. Las emulsiones recién producidas, presentan normalmente un aspecto esponjoso, esto es ocasionado por las burbujas de gas que aún prevalecen atrapadas en el aceite crudo.

Si la emulsión se observa a través de un microscopio, es posible apreciar un gran número de esferas pequeñas de agua dispersas en el aceite; el diámetro de estas gotas minúsculas varía de una a varias centenas de micras, aunque la mayoría tiene un tamaño del orden de 10 micras; cada una de ellas se encuentra rodeada por una película resistente. Esta película se genera por las diferencias de tensión superficial del agua y el aceite. Esta misma fuerza es la causante de que las gotas pequeñas de agua adquieran una forma esférica. En la Figura 2 se muestra esquemáticamente la apariencia de una emulsión al observarse con un microscopio.

Es conveniente aclarar, que las emulsiones de aceite crudo que se presentan en la explotación de campos petroleros, invariablemente se forman con agua que tiene un alto contenido de sales, aproximadamente de 150 000 ppm. Por esta situación, los aspectos tratados en este trabajo sobre la formación y el tratamiento de las emulsiones, no son totalmente aplicables a emulsiones con agua dulce que se manejan en otro tipo de industrias.

Como ya se dijo, la agitación provocada durante la producción simultánea de aceite y agua es la causa fundamental de la formación de una emulsión; ésta es probablemente la razón por la cual las emulsiones no se presentan en el mismo yacimiento.

La formación de aceite crudo en el subsuelo fue un proceso len

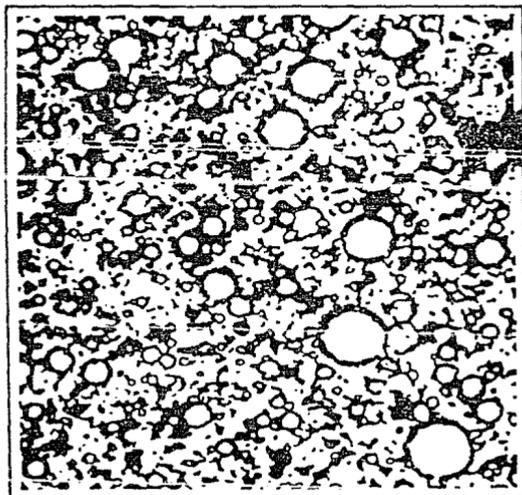


FIGURA 2

**ASPECTO MICROSCOPICO DE UNA
EMULSION AGUA-ACEITE**

to que tomó millones de años sin acción violenta ni agitación de los fluidos, por lo que no es factible que las emulsiones se hayan generado desde las mismas formaciones productoras de hidrocarburos.

No toda el agua producida con el aceite se encuentra emulsionada; el agua que no está emulsionada se conoce como "agua libre", la cual se separa más rápidamente del aceite. En efecto, si se de cargan los líquidos producidos en un recipiente y se dejan en reposo por un corto tiempo, se formarán tres diferentes capas, Figura 3. En el fondo estará el agua libre, en la parte media una emulsión, y en la superior aceite limpio. Esta emulsión puede - permanecer como tal indefinidamente.

Una emulsión, la cual esta formada por partículas de agua extremadamente pequeñas, y que no muestran tendencia a separarse del -- aceite, se conoce como una emulsión "dura" o "estable". Si en - cambio, está compuesta de partículas que muestran tendencia a se pararse, entonces se le conoce como una emulsión "suave" o "ines table".

Los agentes emulsificantes presentes en el aceite crudo, que son los materiales con los que se forma la película que rodea a las - gotas de agua son: asfaltenos, resinas, cresoles, fenoles, áci- dos orgánicos, sales metálicas, sedimentos, arcillas, productos de corrosión y otros.

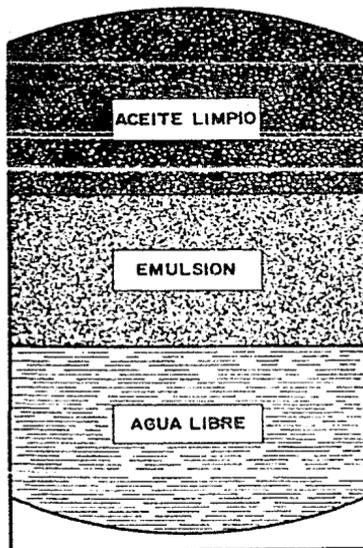


FIGURA 3

**DISTRIBUCION DE FLUIDOS EN EL SEPARADOR
COLOCADO EN LA CABEZA DEL POZO**

I.2 Factores que Afectan la Estabilidad de una Emulsión.

Cualquier efecto que tienda a debilitar la película que rodea a la gota de agua, tratará de destruir la emulsión. Para debilitar dicha película se utilizan algunos agentes químicos así como la adición de calor. El término que comúnmente se utiliza cuando se habla de destruir una emulsión, es "romper la emulsión". Se rompe una emulsión debilitando la película, de tal manera -- que las gotas de agua coalescen formándose gotas mayores, las cuales se sedimentarán en el fondo debido a que el agua es más pesada que el aceite.

El grado de agitación es un factor importante en la estabilidad de una emulsión, determina el tamaño de las partículas de agua dispersas en el aceite; a mayor agitación resulta un menor tamaño de las gotas, y por lo tanto una mayor estabilidad de la emulsión.

La viscosidad del aceite también es importante; a valores altos de viscosidad, es posible mantener gotas de agua más grandes en suspensión. La naturaleza de la emulsión también es afectada -- por el tiempo, la película que rodea la gota de agua se engruesa y se torna más resistente, siendo más difícil su rompimiento.

El pH de la fase acuosa también interviene en la estabilidad de

la emulsión en forma considerable, Tabla I, siendo éstas inestables en un valor de pH de 10.5.

Comúnmente, el primer paso en el tratamiento de una emulsión -- consiste, en la adición de agentes químicos desemulsificantes. El mecanismo de acción de los desemulsificantes consiste en -- romper y desplazar la película de agente emulsificante que rodea a la gota de agua (floculación), aumentando la tensión superficial y atracción molecular propiciando la coalescencia. Otra propiedad importante en los agentes desemulsificantes es la capacidad para humectar los sólidos presentes en la emulsión, para que sean incorporados al agua separada. La inyección del re activo debe hacerse en un punto donde se garantice el contacto íntimo entre éste y las gotas de agua dispersas.

El calor tiene un efecto que ayuda a romper la emulsión y a limpiar el aceite, modifica la densidad relativa del aceite más rápido que la densidad relativa del agua haciendo al aceite más ligero; esto da lugar a que el agua se separe más fácilmente, - este efecto se ilustra en la Figura 4. Asimismo, el calor disminuye la viscosidad del aceite permitiéndole mayor fluidez.

Rígurosamente, existen tres elementos que ayudan a romper la -- emulsión:

- 1.- La acción química en la película.

T A B L A I

EFECTO DEL pH: SOBRE LOS TIPOS DE EMULSION Y SU ESTABILIDAD

pH	TIPO DE EMULSION	ESTABILIDAD DE LA EMULSION
3.0	agua/aceite	alta
6.0	agua/aceite	alta
10.0	agua/aceite	baja
10.5	ninguna	inestable
11.0	aceite/agua	baja
13.0	aceite/agua	baja

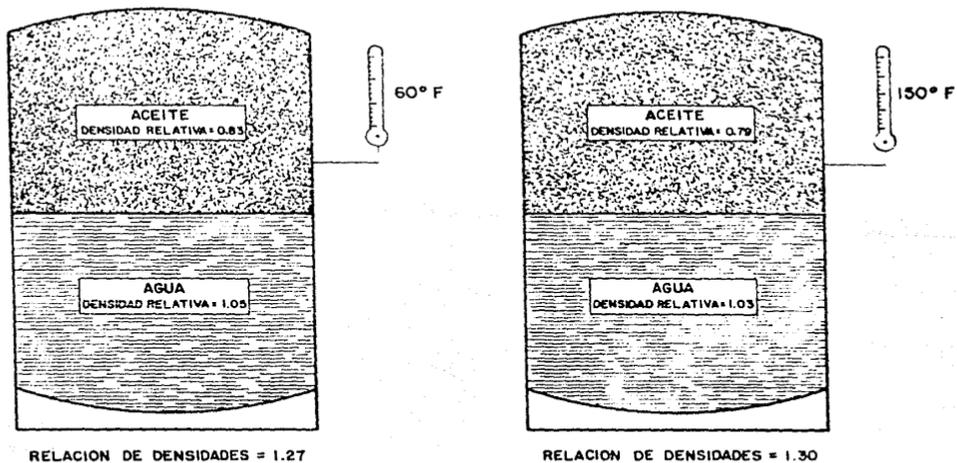


FIGURA 4

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA DENSIDAD
DEL AGUA Y EL ACEITE**

- 2.- El calor para: debilitar la película, incrementar la diferencia de densidades entre el aceite y el agua, y reducir la viscosidad del aceite.
- 3.- Tiempo de reposo para que el agua se asiente por gravedad.

Algunas emulsiones pueden ser rotas con dos de los tres elementos, ya sea combinando agentes químicos y tiempo de reposo, o bien haciendo uso de los tres. Cabe hacer notar que este último elemento es indispensable en el proceso; determina las dimensiones del equipo y consecuentemente el costo del mismo.

La deshidratación del aceite crudo consiste esencialmente en un proceso de separación por gravedad; ésta proporciona la fuerza natural requerida para remover el agua salada del aceite. Existen en la actualidad varios diseños de equipo para ayudar a la separación por gravedad, entre los que se pueden mencionar los tanques deshidratadores, eliminadores de agua libre, separadores de tres fases, coalescedores mecánicos y coalescedores eléctricos. En estos dispositivos el tiempo de reposo, o asentamiento necesario para que el proceso de deshidratación se lleve a cabo, limita el volumen de aceite tratado.

El tiempo necesario para que las gotas de menor tamaño se asienten, es uno de los factores de diseño más importantes, este efecto queda regido mediante la ley de Stokes:

$$v = \frac{2 gr^2 (\rho_w - \rho_o)}{\mu_o} \dots\dots\dots(1)$$

donde:

v = Velocidad de asentamiento de la partícula de agua

g = Aceleración de la gravedad

r = Radio de la partícula

ρ_w = Densidad relativa del agua

ρ_o = Densidad relativa del aceite

μ_o = Viscosidad del aceite.

De la ecuación (1) se puede observar la importancia que tiene la viscosidad del aceite y el tamaño de la partícula de agua en la velocidad de asentamiento. En particular este último factor es fundamental, ya que si se duplica el tamaño de las gotas de agua que forman la emulsión, se tiene una velocidad de asentamiento de las gotas cuatro veces mayor.

II. TRATAMIENTO DE LAS EMULSIONES

II.1 Procesos Previos al Tratamiento de las Emulsiones.

Cuando un yacimiento se encuentra en una etapa avanzada de explotación, generalmente los fluidos producidos en la cabeza del pozo están formados por una mezcla de: aceite crudo, gas y agua libre y/o emulsionada en el aceite. Antes de efectuar el proceso de tratamiento del aceite crudo para eliminarle el agua emulsionada, sales, arena y sedimentos entre otras impurezas, es necesario separar de la corriente de fluidos tanto el gas como el agua libre. Las parafinas y asfaltenos, que invariablemente se encuentran presentes en el aceite crudo, no se consideran como impurezas.

Separación de gas y líquidos.

Para la eliminación del gas libre, llamado también "gas primario", la producción de los pozos se envía a una instalación de campo conocida como batería de separación. Normalmente cada uno de los pozos cuenta con una línea de descarga independiente para conducir su producción hasta la batería. La producción total del campo, se recibe en un "cabezal de recolección", el cual está formado por un colector general o de grupo y uno de prueba o aforo. Este cabezal se localiza antes de la batería, y a él confluyen cada uno de los pozos, los cuales casi nunca llegan con la misma presión.

En la Figura 5, se ilustra esquemáticamente un diagrama típico de una batería de separación; se puede observar que la producción -- que se va a conducir a la batería, se maneja de acuerdo a la presión de llegada de los pozos.

Si se desca aforar algún pozo en particular, la producción de éste se envía al colector de prueba, y de ahí al separador de prueba y tanque de medición respectivamente, a fin de contabilizar su producción.

La producción del colector general se envía a un arreglo de separadores conocido como "tren de separación". Normalmente la separación del gas primario de la corriente de líquido se lleva a cabo en varias etapas.

El tipo y número de separadores utilizados en cada tren, depende de las condiciones de presión, temperatura, propiedades y composición de la mezcla de hidrocarburos manejada. Cuando se usan separadores de dos fases, sólo se separa el gas de la corriente de líquido; en cambio cuando se utilizan de tres fases, se separan aceite, gas y el agua libre directamente en la batería.

Separadores a boca de pozo.

Ocasionalmente, cuando la distancia entre los pozos y la batería de separación es considerablemente grande y el terreno es muy si-

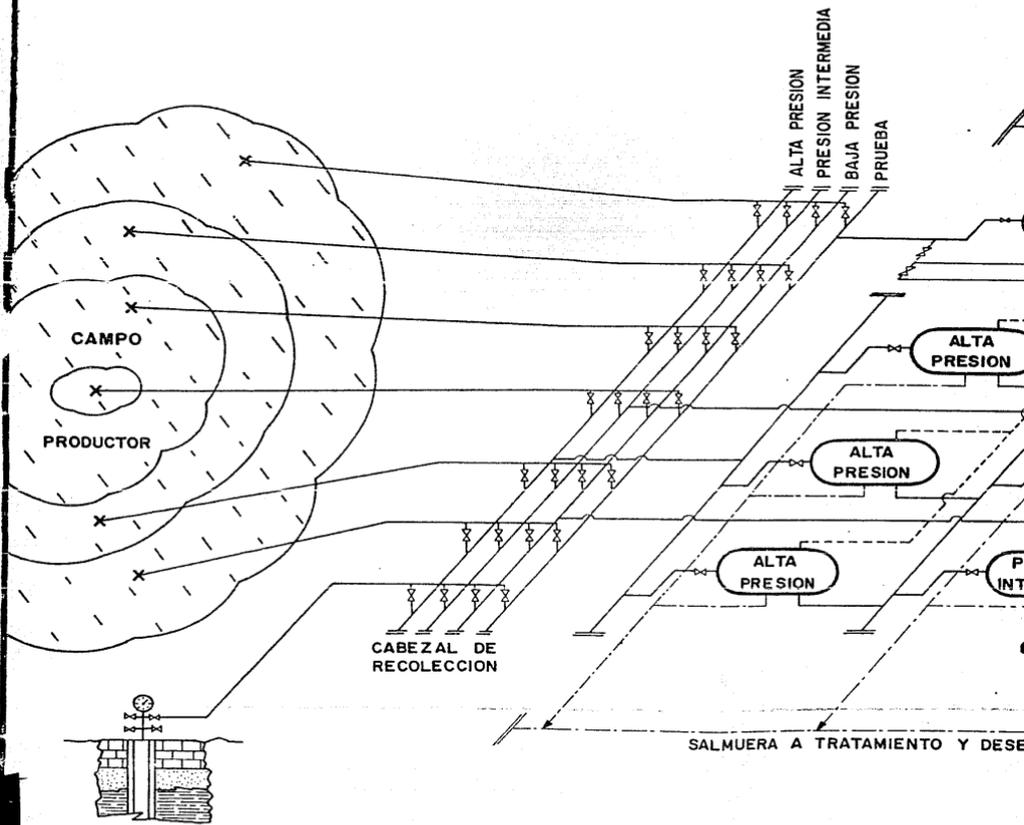


FIGURA 5

ESQUEMA TIPO DE UNA BATE

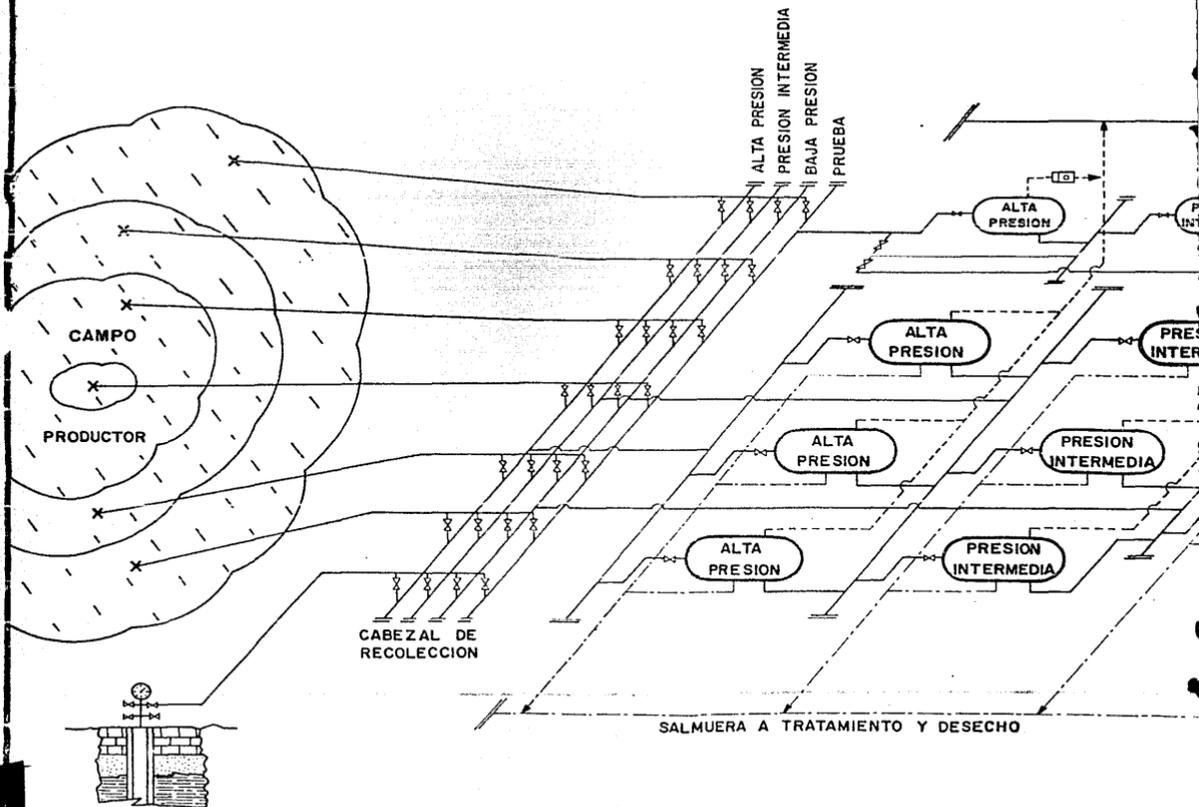


FIGURA 5

ESQUEMA TIPICO DE UNA BATERIA DE SEPAI

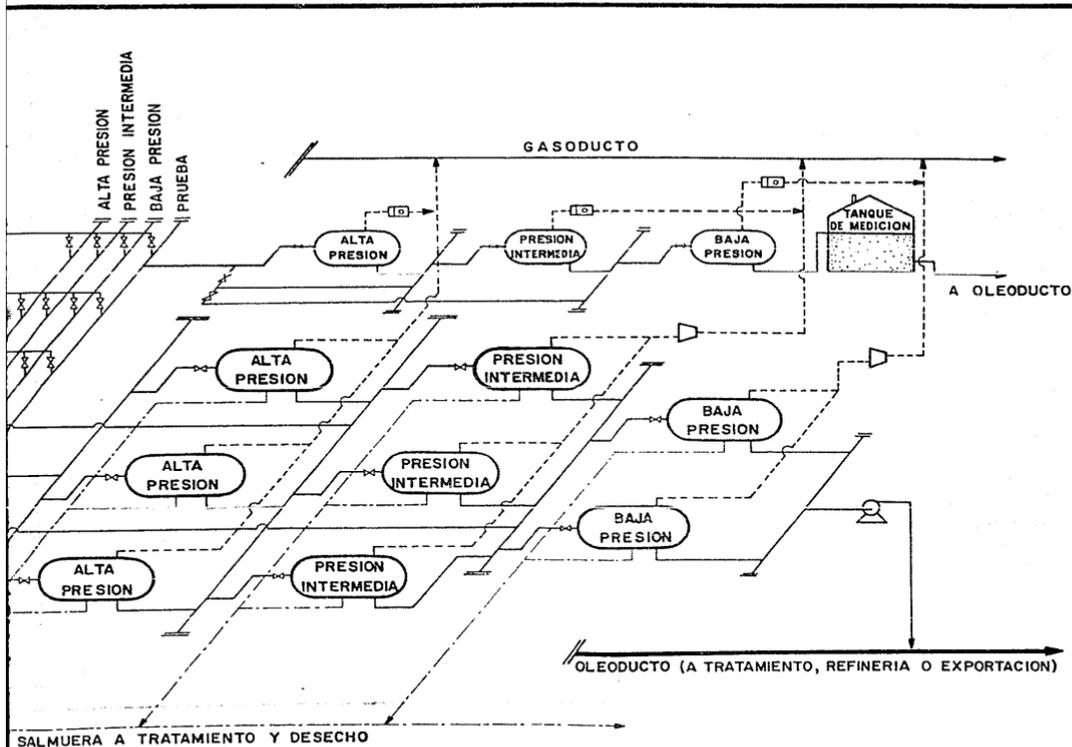


FIGURA 5

TIPICO DE UNA BATERIA DE SEPARACION

SIMBOLOGIA :

- - - - - GAS
- ACEITE
- · - · - SALMUERA

nuoso, es factible utilizar separadores colocados en la cabeza del pozo. Este tipo de separadores son similares a los que se muestran en la Figura 5; la razón principal de su uso, es que se reducen considerablemente las caídas de presión al manejar el "gas primario" y aceite separados, en líneas independientes, en comparación a las que se tienen si se transportan las dos fases en una misma línea.

Sin embargo, es importante mencionar que también existen algunas desventajas al usar este tipo de separadores.

- significa una inversión adicional, además de que estos equipos son normalmente caros, debido a que deben diseñarse para soportar altas presiones.
- puede ser necesario instalar sistemas de bombeo y compresión, a fin de conducir el aceite y el gas separados hasta las instalaciones de tratamiento.

No obstante las desventajas citadas, y de que no se utilizan en nuestro medio, el instalar separadores a boca de pozo puede ser una posibilidad y de hecho en otros países es común su aplicación.

Separación del agua libre.

Luego que los fluidos se han conducido a través de la batería de separación, de ésta salen: "gas primario", el cual se envía

a una planta petroquímica para su tratamiento; por otra parte, se descarga aceite crudo con agua libre y emulsionada.

El agua libre es la que se produce simultáneamente con el aceite, pero que no forma parte de la emulsión; ésta normalmente se separa de la emulsión en un tiempo relativamente corto. Es conveniente separarla de la corriente de aceite con agua emulsionada antes que ésta sea tratada, por varias razones:

- Es una sobrecarga para las tuberías y el equipo de transporte, ya que puede constituir hasta un 50 ó 60% de la producción total.
- Puede ser altamente corrosiva. Las emulsiones generalmente no lo son, ya que el agua se encuentra dispersa en el aceite, de tal manera que solamente este último se encuentra en contacto con las paredes del equipo y tuberías.
- Cuando se aplica calor para romper la emulsión, el agua absorbe hasta dos veces más calor que el aceite.

De hecho, en todos los diseños de procesos para el rompimiento de emulsiones agua-aceite, se efectúa al principio la eliminación del agua libre. El equipo que cumple con esta función es comúnmente conocido como "tanque eliminador de agua libre", y prácticamente todos los sistemas de tratamiento de aceite crudo tienen uno, ya sea en forma individual o incorporado al mencionado sis-

tema.

Equipo eliminador de agua libre.

Los tanques eliminadores de agua libre son equipos muy simples, que se utilizan para remover grandes cantidades de agua no emulsionada, antes que la corriente de fluidos sea enviada a la instalación de deshidratación. Estos pueden ser horizontales o verticales dependiendo del volumen y características del aceite manejado.

Un recipiente eliminador de agua libre puede ser diseñado de -- tal forma que solamente el agua libre pueda separarse de la mezcla de fluidos. Uno de tres fases, permite además, separar el -- gas remanente de la corriente de aceite o emulsión.

En general este equipo es simplemente un recipiente que proporciona un espacio para que el agua libre se asiente del líquido, solamente por el efecto de la gravedad. A menudo, se usa un filtro con el objeto de ayudar a separar algunas de las partículas de aceite o emulsión que puedan ser arrastradas por el agua. En esta situación, el agua se hace pasar a través del filtro para -- asentarse en el fondo; y de ahí es drenada hacia afuera por la -- parte inferior del recipiente. El aceite o emulsión sale por -- la parte superior hacia el equipo de tratamiento de emulsiones. Como se mencionó anteriormente, este tipo de recipientes debe --

instalarse antes de los equipos de calentamiento, a fin de que el agua no consuma energía que sólo debe ser absorbida por la emulsión. En las Figuras 6 y 7, se ilustran esquemáticamente un tanque eliminador vertical y uno horizontal respectivamente.

El diseño y operación de los eliminadores es muy simple, y aunque resultan útiles, rara vez se usan en nuestro medio. Su aplicación se limita a centrales de deshidratación que manejan porcentajes - de agua libre de 20% o mayores. En campos como el Tamaulipas-Constituciones, Poza Rica, Agua Dulce y Comalcalco, pueden ser de gran utilidad.

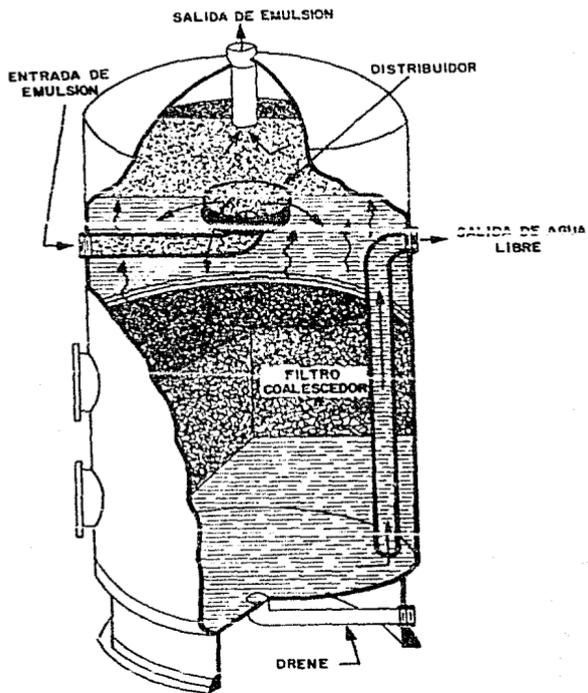


FIGURA 6

EQUIPO ELIMINADOR DE AGUA LIBRE VERTICAL

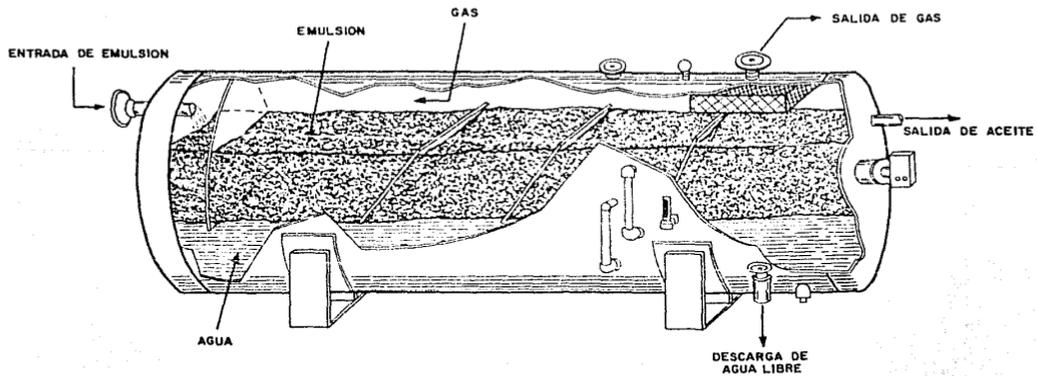


FIGURA 7

EQUIPO ELIMINADOR DE AGUA LIBRE HORIZONTAL

II.2 Procedimiento para Establecer el Proceso de Tratamiento.

Luego de haber separado el "gas primario" y el "agua libre" de la corriente de líquidos, el siguiente paso consiste en el proceso - encaminado a destruir la emulsión agua-aceite y obtener aceite -- crudo tratado, dentro de especificaciones.

Los elementos esenciales para efectuar el proceso de tratamiento de una emulsión de aceite crudo son:

- 1.- Adición de agentes químicos desemulsificantes
- 2.- Adición de calor
- 3.- Tiempo de asentamiento

Otros elementos y dispositivos auxiliares que ayudan a mejorar o acelerar el proceso de tratamiento de una emulsión, son los siguientes: Aplicación de electricidad, utilización de dispositivos mecánicos (placas coalescedoras, distribuidores de emulsión, dispositivos de lavado, etc), y aplicación de diluyentes para -- disminuir la viscosidad de la emulsión.

Algunos de estos elementos van incorporados en equipo tales como: deshidratadores electrostáticos, convencionales y atmosféricos. Los elementos, procesos y equipos aludidos, se incluyen en el desarrollo de este capítulo.

Un sistema de tratamiento "ideal" para las emulsiones, es aquel

en el que se tienen los más bajos costos de operación (costos de agentes químicos desemulsificantes + costos de combustible para el calentador), y que requiere la menor inversión para la adquisición de las instalaciones necesarias.

La inversión inicial más significativa en el proceso de tratamiento, es generalmente la que corresponde al equipo utilizado para el asentamiento final de la emulsión, después que se han agregado agentes químicos y se ha conducido el flujo de líquidos por la etapa de calentamiento. Al aumentar la dosificación de agentes químicos o la temperatura de la emulsión, es factible reducir el tamaño del equipo y su costo; sin embargo, los correspondientes a operación aumentarán a medida que se agrega más desemulsificante o se adiciona más calor.

El procedimiento para determinar: el tipo y cantidad de agentes químicos a inyectar, la temperatura a la cual se debe calentar la emulsión, y las dimensiones del equipo para asentamiento de la emulsión, es por ensaye y error. Este consiste de una serie de evaluaciones en el laboratorio, conocidas como "pruebas de botella", por medio de las cuales se obtiene la siguiente información:

- 1.- El tipo de agentes desemulsificantes a evaluar,
- 2.- La dosificación de los agentes químicos,
- 3.- La temperatura a la cual debe calentarse el aceite, y

4.- El tiempo de asentamiento de la emulsión

Algunas emulsiones pueden destruirse con agentes químicos y tiempo de asentamiento; otras, calentándolas y permitiendo que el agua se sedimente. Las emulsiones más difíciles o "duras" requieren de agentes químicos y calor, seguido de tiempo de asentamiento. La selección del proceso de tratamiento más adecuado se fundamenta finalmente en el aspecto económico.

Como regla general, se prefiere no calentar la mezcla o minimizar la cantidad de calor. Los inconvenientes de calentar la emulsión son:

- 1.- El equipo de calentamiento es caro
- 2.- El calentador consume combustible que tiene valor comercial
- 3.- Algunos de los hidrocarburos ligeros en el crudo se evaporan a medida que se le adiciona calor, de manera que éste se encoge y disminuye su gravedad API. En la Figura 8 se muestra una gráfica de las pérdidas de gravedad API en función de la reducción del volumen original, para aceites crudos de diferente gravedad API.
- 4.- A menudo los calentadores requieren de personal especializado para su operación
- 5.- Los calentadores de gas pueden ser peligrosos si no se operan cuidadosamente, y se les da el mantenimiento adecuado.

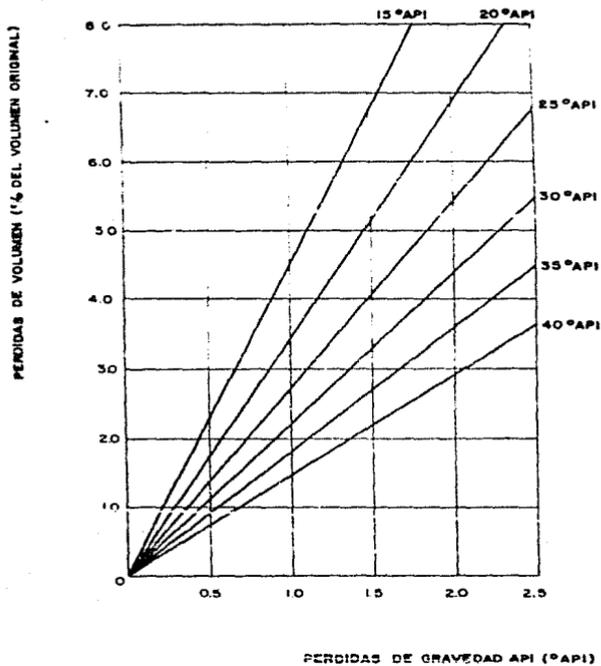


FIGURA 8

**PERDIDAS DEL VOLUMEN ORIGINAL DE ACEITE
Y GRAVEDAD API PARA DIFERENTES
TIPOS DE ACEITE**

El primer paso para seleccionar el agente desemulsificante apropiado para destruir la emulsión, consiste en obtener una muestra "fresca" representativa de la misma. Ya en el laboratorio, pequeñas porciones de la muestra se miden cuidadosamente en un cierto número de botellas, a las cuales se les agregan pequeñas cantidades de los reactivos a evaluar. Estas se agitan para mezclar el reactivo en la emulsión. Enseguida se observan las botellas en forma individual durante varios minutos, para ver el cambio de color, lo cual indica el inicio de rompimiento de la emulsión. Asimismo, en cada botella se puede ver si hay "agua libre" en el fondo. Si después de varios minutos no se observa la presencia de agua, o aún el aceite no se ve limpio; se colocan las botellas en "baño maría" y se calientan para definir si se requiere incrementar la temperatura para romper la emulsión.

Posteriormente, se obtiene una muestra del crudo aproximadamente de la parte media de la fase de aceite, para efectuar una prueba centrífuga y determinar su grado de limpieza; o en otras palabras, establecer qué tan completa fue la separación del agua. Una vez que se ha determinado cuál es el agente químico más efectivo, se debe definir la cantidad de desemulsificante a utilizar. Para esto, se deben llenar nuevamente un determinado número de botellas con emulsión "fresca", se agrega a cada una diferente cantidad de reactivo, y enseguida se agitan y se dejan en reposo varios minutos. Se selecciona como dosificación más adecuada la que muestre

una velocidad de separación mayor, reuniendo los requisitos de -
limpieza del aceite. La dosificación generalmente se especifica
en galones de desemulsificante por cada 1000 barriles de aceite
tratado, (GPM).

El procedimiento y equipo necesario para realizar las "pruebas de
botella", se describen en forma más detallada en el Apéndice "A"
de este trabajo.

II.3 Inyección de Reactivos Químicos.

En los inicios de la industria petrolera, el tratamiento del aceite crudo se llevó a cabo en forma diferente en los campos productores; sin embargo, en ninguna parte se intentó explorar la posibilidad de utilizar aditivos químicos como un medio para romper una emulsión. En la actualidad muchos de estos son usados como un elemento auxiliar en el tratamiento del aceite, como son los desemulsificantes orgánicos de tipo iónico y no iónico, cuya aplicación y eficiencia se determina por ensayo y error mediante pruebas de botella. La selección del agente químico más adecuado, --mas que una ciencia es un arte y la lleva a cabo personal especializado.

Un agente químico desemulsificante desarrollado para tratar una emulsión agua-aceite, debe ser capaz de desactivar la película de material emulsificante que rodea a las gotas de agua dispersas en el aceite. Los reactivos son dosificados en pequeñas cantidades en algún punto del sistema de tratamiento; éstos deben ser solubles en el aceite y actuar como agentes activos de superficie (disolución en el aceite y acción sobre la película emulsificante).

Los aditivos químicos desemulsificantes, son sustancias polares, esto permite que sean atraídos por el agente emulsificante el cual también es una sustancia polar; esta atracción es muy similar a la acción generada por dos barras magnéticas. El contacto entre

el reactivo químico y el agente emulsificante, provoca que éste - último se destruya, favoreciendo de esta manera que las gotas más pequeñas coalescan para formar gotas mayores, las cuales se segregan de la fase de aceite por efecto de diferencia de densidades - entre el agua y el aceite. En la Figura 9 se ilustran dos muestras de la misma emulsión, con y sin la adición de reactivo des- emulsificante.

Puntos de aplicación de los agentes desemulsificantes.

El punto en el cual el agente químico ruptor de la emulsión debe aplicarse, es una consideración importante en el diseño de un pro- ceso de tratamiento; éste puede estar localizado en: el fondo del pozo, el cabezal, la batería de separación, los cabezales de lle- gada de los pozos o la planta de deshidratación y desalado del -- crudo. Debe haber suficiente agitación en la corriente de flujo para permitir un contacto adecuado entre el reactivo y la emulsión, esto permite que el primero pueda entrar en contacto con la mayo- ría de las partículas de agua dispersas y neutralizar la película del agente emulsificante; para esto, debe analizarse previamente el punto de aplicación que dependerá en parte del tipo de reacti- vo a utilizar. Si el desemulsificante es soluble en agua, se in- yecta hasta que se haya separado el agua libre. Sin embargo, si - la producción de ésta es baja, la inyección puede llevarse a cabo sin que la pérdida de reactivo sea considerable.



1ER DIA



2º DIA

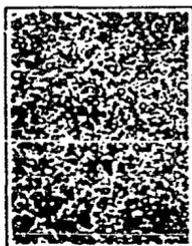


8º DIA

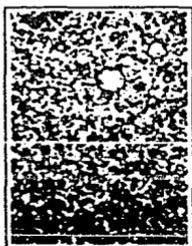


10º DIA

SIN ADICION DE REACTIVO



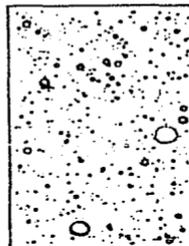
1ER DIA



2º DIA



8º DIA



10º DIA

CON ADICION DE REACTIVO

FIGURA 9

**ASPECTOS DE UNA EMULSION AGUA-ACEITE
CON Y SIN ADICION DE
REACTIVO DESEMULSIFICANTE**

Métodos de aplicación de los agentes desemulsificantes.

En instalaciones de tratamiento que operan en forma continua, la inyección de reactivos debe aplicarse en los puntos donde se produce la emulsión. Existen dos tipos básicos de tratamiento de emulsiones agua-aceite, siendo la diferencia principal el punto de aplicación del reactivo. Estos son: Tratamiento en la línea de flujo y tratamiento en el fondo del pozo.

- Tratamiento en la línea de flujo.

El tratamiento de emulsiones agua-aceite en la línea de flujo, es el método que más comúnmente se lleva a cabo para tratar el aceite crudo en la industria petrolera de nuestro país. Al igual que en un tratamiento de fondo, es necesario que la adición del reactivo se haga en el punto donde se garantice un mezclado adecuado, éste generalmente se localiza antes de la batería de separación; o bien, en algún cabezal a donde confluye la producción de varios pozos.

- Tratamiento en el fondo del Pozo.

Es conocido que la viscosidad de una emulsión se incrementa conforme aumenta el grado de dispersión de las gotas de agua en el aceite; esto, como ya se mencionó, se logra por medio de agitación. Por lo tanto, al aumentar la viscosidad la resistencia al flujo es mayor, ocasionando que se tengan más altas pérdidas de presión por fricción en las tuberías conductoras del crudo. Por esta ra-

zón, resulta conveniente tratar la emulsión adicionando el reactivo desemulsificante en el fondo del pozo; la temperatura prevaleciente a esa profundidad es de gran ayuda pues disminuye la -- viscosidad del aceite y facilita la acción del agente desemulsificante.

Este tipo de tratamiento evita en gran parte la formación de emulsiones, o sea es un método preventivo. La inyección del reactivo comúnmente se efectúa por el espacio anular entre la tubería de producción y la de revestimiento. Existen varias formas de realizar el tratamiento de fondo; algunas veces el agente químico se inyecta al fondo en forma continua, otras se hace a intervalos. En pozos que producen con sistema de bombeo hidráulico, el agente desemulsificante puede agregarse al fluido de potencia, el cual es forzado a través de la tubería de producción al fondo del pozo, donde se mezcla con la emulsión. Este tipo de tratamiento aunque puede tener, en algunos casos, ventajas respecto a un tratamiento en la línea de flujo, no es aplicable en México.

Dosificación de los reactivos desemulsificantes.

Como ya se discutió, para seleccionar la cantidad de reactivo desemulsificante apropiada para tratar un cierto volumen de aceite crudo, se realizan evaluaciones en laboratorio conocidas como "pruebas de botella". A los valores obtenidos de estas pruebas, se les conoce como relaciones de tratamiento y se reportan como

1 : x, que indican el volumen "x" de aceite que se puede tratar con una unidad de volumen de reactivo desemulsificante.

La relación de tratamiento es un parámetro importante en el proceso de deshidratación del aceite crudo. Resulta obvio que si se dosifica al crudo menor cantidad de reactivo desemulsificante del requerido, no se logra un rompimiento completo de la emulsión. Por otra parte, si se emplea demasiado reactivo se puede llegar a tener un "sobretreatmento" de la emulsión, lo que conduce en la mayoría de los casos a una "reemulsificación". Esta situación, en forma momentánea, resulta más perjudicial que si no se inyectara reactivo. Para resolver este problema, se debe suspender la inyección de reactivo temporalmente, y manejar más emulsión "fresca" en el sistema de tratamiento para conseguir la disminución en la concentración del desemulsificante.

Por lo anteriormente discutido, se intuye la importancia que tiene el equipo que se utiliza para la inyección de reactivos químicos.

II.4 Equipo de Inyección de Reactivos.

Como se ha mencionado, el tratamiento de las emulsiones de aceite crudo, requiere de la aplicación de compuestos químicos con características especiales, los cuales deben ser agregados a la corriente de crudo en el lugar adecuado; esta función se lleva a cabo por medio de una bomba de alimentación de reactivos.

Bombas de dosificación de reactivos.

En instalaciones de tratamiento que operan en forma continua, la inyección de reactivos debe aplicarse en puntos donde se produce la emulsión. La dosificación de éste, normalmente se lleva a cabo con una bomba cuya función es inyectar el agente químico desmulsificante a un gasto determinado en función del volumen de emulsión a tratar. El tipo de bomba más común es el de desplazamiento positivo, Figura 10, la cual puede operarse de dos formas: por medio de gas o con un motor eléctrico.

El mecanismo de funcionamiento de las bombas neumáticas, es el siguiente: cuando se dispone de gas o aire a presión, este acciona a un diafragma el cual a su vez impulsa al vástago que está conectado al pistón, este tipo de bombas son las que más se usan en el campo por no requerir energía eléctrica, y debido a que manejan volúmenes de reactivo a altas presiones, en comparación con las bombas operadas por motor eléctrico. En la Figura 11, se muestra una bomba para dosificación de reactivos operada con

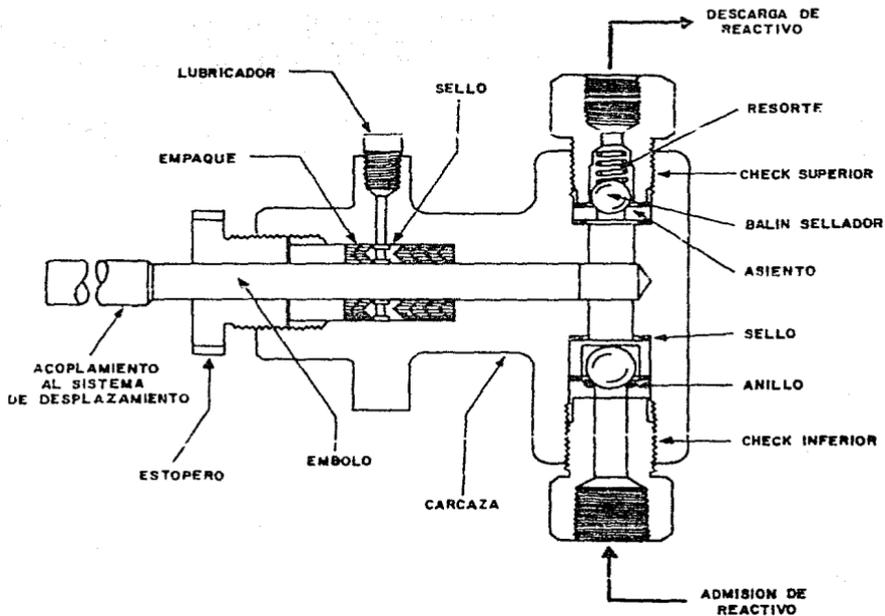


FIGURA 10

DIAGRAMA DE PARTES DE UNA BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

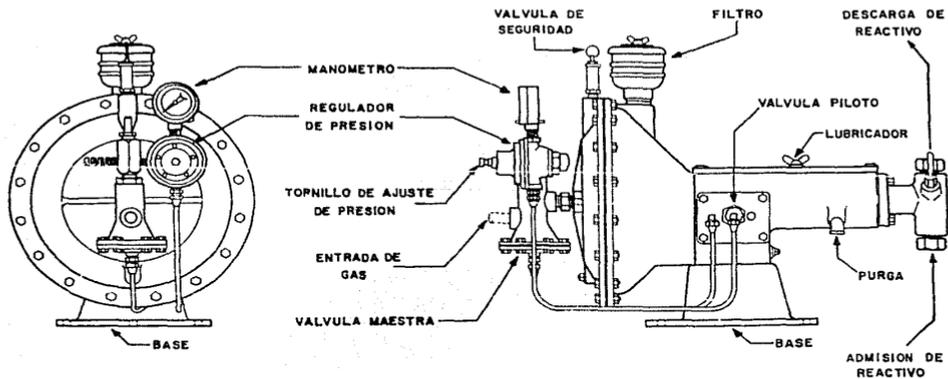


FIGURA II

**BOMBA NEUMATICA PARA DOSIFICACION
DE REACTIVOS QUIMICOS**

gas a presión.

En el caso de una bomba accionada con un motor eléctrico, Figura 12, la potencia del motor se transmite por medio de la flecha a un dispositivo, el cual convierte el movimiento circular de la flecha en un desplazamiento lineal al vástago que impulsa al pistón de la bomba. Este tipo de bombas tienen más aplicación a nivel de planta que en operaciones de campo.

Una vez que se ha determinado la dosificación de reactivo a inyectar, se procede a ajustar el mecanismo de operación de la bomba. En el caso de bombas eléctricas, se regula la longitud de la carrera del émbolo; para bombas neumáticas, se ajusta el número de emboladas por minuto en función del volumen de gas o aire suministrado.

- Operación.

Como se ha comentado, el suministro de la potencia requerida para operar una bomba de dosificación de agentes desemulsificantes, es de dos tipos: por medio de un motor eléctrico cuando se dispone de electricidad; o con gas o aire comprimido, el cual actúa a presión sobre un diafragma. En este caso se usa un regulador de presión del gas que generalmente se ajusta a un rango entre 5 y 20 lb/pg² de entrada a la bomba, para diámetro de pistón de 3/8" a 1 1/4" y presiones de inyección de desemulsificantes de 100 a 5000 lb/pg². En ambos casos la forma de operar las bombas es muy

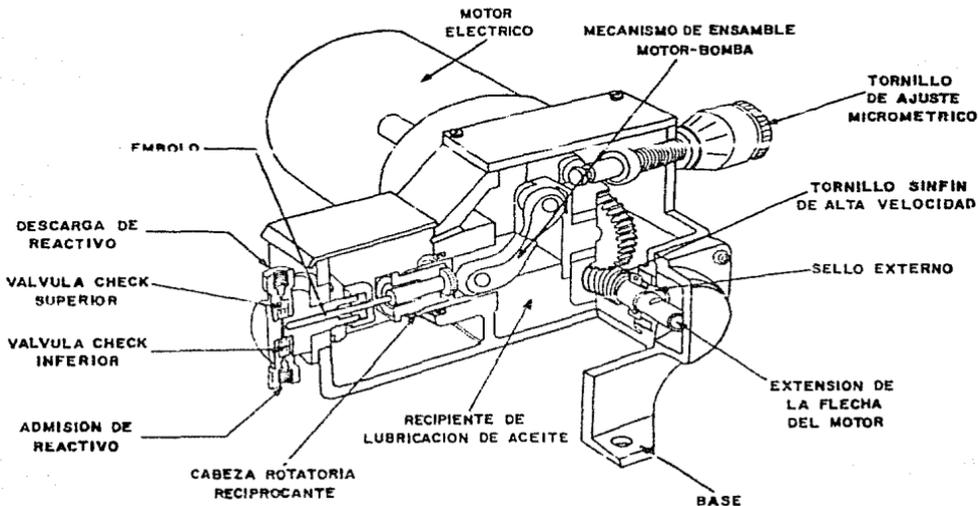


FIGURA 12

**BOMBA PARA DOSIFICACION
 DE REACTIVOS QUIMICOS
 ACCIONADA CON MOTOR ELECTRICO**

simple, pues sólo se requiere ajustar el gasto de inyección y la presión (en el caso de bombas neumáticas) a los requerimientos del sistema de tratamiento.

- Mantenimiento.

La mayoría de las bombas de alimentación de reactivos son simples, fáciles de ajustar y su reparación es sencilla, sin embargo estos equipos pueden fallar debido principalmente a operaciones de limpieza inadecuadas. Los agentes químicos desesulfurantes son sustancias viscosas que fácilmente se adhieren a los émbolos, pistones y especialmente a las válvulas "check". Cuando las partes móviles de la bomba quedan cubiertas con acumulaciones del reactivo químico, se disminuye notablemente la eficiencia en la inyección. En la Tabla II, se presentan las partes de las bombas que presentan fallas más frecuentemente.

- Protección.

Las bombas de inyección de reactivo deben protegerse de efectos dañinos causados por: gases corrosivos, viento, lluvias, arena, etc. En algunos campos donde se produce aceite y gas corrosivos, y donde este último se usa para operar la bomba de reactivo, ésta debe recibir una atención adicional de limpieza.

Depósito de reactivos.

Un método común que se usa para suministrar el reactivo a la bom-

T A B L A II

PARTES DE LAS BOMBAS QUE MAS FRECUENTEMENTE FALLAN

TIPO DE BOMBA	P A R T E S
Con motor eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> - acoplamiento motor eléctrico-pistón de la bomba - válvula check de descarga de reactivos. - válvula check de admisión de reactivos.
Neumática	<ul style="list-style-type: none"> - suministro de gas o aire (válvula - reguladora de presión y filtro) - válvula de seguridad - diafragma y resorte de la bomba - válvula check de descarga de reactivos. - válvula check de admisión de reactivos.

ba consiste en almacenar el reactivo en un depósito, de esta forma el tanque de la bomba se puede llenar fácilmente por medio de una válvula. Es necesario que el depósito de reactivo tenga algún dispositivo de medición a fin de contabilizar el volumen de desemulsificante adicionado a la emulsión. El material de construcción es de acero inoxidable o hierro fundido, y debe recibir mantenimiento de limpieza en forma periódica.

II.5 Calentamiento de las Emulsiones.

Ya se mencionó anteriormente los efectos de calentar una emulsión:

- 1.- Debilita la película que rodea a la gota de agua.
- 2.- Disminuye la viscosidad del aceite.
- 3.- Promueve la diferencia de densidad entre el agua y el aceite.

Por estas razones, el calor debe aplicarse en forma adecuada; mediante la adición de suficiente energía calorífica y agente químico, se reduce el tiempo de reposo requerido para obtener una buena separación del agua y el aceite, con esto se minimiza la cantidad de equipo y sus dimensiones para realizar el tratamiento. El combustible utilizado para calentar una emulsión es generalmente gas natural; en algunos casos el mismo aceite puede usarse como combustible, pero esto no es conveniente desde el punto de vista operativo, ni económico.

Hasta ahora se ha citado el aceite crudo sin definirlo, ni caracterizarlo; sin embargo, esto es necesario a fin de comprender las limitaciones en el tratamiento ocasionadas por la naturaleza del crudo.

Los aceites crudos son mezclas de hidrocarburos de gran variedad en peso molecular y complejidad en su estructura. El metano -- (CH_4) es el más ligero y menos complejo de los hidrocarburos que se encuentran en el aceite (tiene un átomo de carbono y cuatro de

hidrógeno en su molécula, y bajo condiciones normales de P y T, se presenta en forma gaseosa. Los hidrocarburos más complejos presentes en el aceite son más pesados, y su proporción en la mezcla determina las características del mismo. Los aceites -- pueden variar en su apariencia desde oscuros pesados, asfálticos, verdosos menos pesados que fluyen fácilmente, hasta aceites muy ligeros transparentes y volátiles. La unidad de medida tradicional para el peso del aceite crudo es la gravedad API; la gravedad API del agua es 10°, la del crudo aumenta a medida que es más ligero.

La unidad del Sistema Internacional para medir el peso del aceite es la densidad relativa; ésta, es una comparación del peso - del aceite con el del agua; un aceite con densidad relativa de 0.85, pesa un 85% del correspondiente al mismo volumen de agua.

La gravedad API del aceite crudo puede afectarse negativamente por una operación inadecuada del equipo de tratamiento. Si se usa calor con la única idea de que al aplicarlo en mayor cantidad, se logra un mejor tratamiento, ciertos componentes ligeros en el crudo se evaporarán y perderán. Esto ocasiona una reducción en el volumen y gravedad API del aceite tratado, disminuyendo en consecuencia su precio de venta.

Una temperatura de tratamiento elevada, tiene otros efectos negativos, además de disminuir el volumen, la gravedad API y el -

precio del crudo, estos son:

- El tratamiento resulta caro, debido al costo del combustible usado para alcanzar altas temperaturas.
- A mayor temperatura aumenta la velocidad de corrosión en el equipo de tratamiento.
- Al calentar el agua salada con el aceite crudo se incrementa la tendencia a la depositación de incrustaciones en el equipo. Esto provoca a menudo el paro del equipo para realizar operaciones de limpieza.

La aplicación de calor durante el proceso de tratamiento no destruye la emulsión por sí sola, excepto en raras ocasiones. Generalmente la adición de calor es solamente un elemento auxiliar en el tratamiento del aceite crudo, aunque ocasionalmente es posible eliminarlo por completo.

Cuando la adición de calor en el proceso de tratamiento es necesaria, se puede utilizar algún dispositivo de calentamiento. La totalidad de los dispositivos de calentamiento, para el tratamiento de emulsiones agua-aceite se clasifican en dos grupos: Dispositivos de calentamiento de fuego directo y de fuego indirecto. En la mayoría de las plantas de tratamiento de aceite crudo, los equipos de calentamiento se encuentran integrados al proceso de deshidratación.

Dispositivos de calentamiento de fuego directo.

Estos equipos tienen la característica de proporcionar el calor

de una manera directa a la emulsión, esto se logra quemando un combustible en una cámara de combustión interna, la cual se encuentra sumergida en el seno de la emulsión. Por lo común este tipo de equipos se usan para calentar emulsiones no corrosivas, que se encuentran relativamente a baja presión y el gasto es constante.

La eficiencia de un dispositivo de calentamiento, está determinada por la cantidad de gas que debe ser suministrada a la boquilla del quemador, para tratar un volumen de emulsión a una temperatura dada.

Existen varios tipos de dispositivos de calentamiento directo; estos son: Hornos de calentamiento, calentadores de tubos concéntricos o enchaquetados, y calentadores volumétricos con cámara de combustión interna horizontales y verticales.

- Hornos de calentamiento.

Los hornos de calentamiento, constan de una serie de tubos rectos que conducen la emulsión hacia el área de calentamiento, los cuales se encuentran suspendidos dentro de una cámara de combustión. Los tubos están conectados entre sí por medio de codos de retorno, y pueden usarse uno o más bancos de tubos, dependiendo del volumen de emulsión a calentar. Estos se encuentran dentro de una armazón de tal forma que el fuego del quemador calienta a dichos tubos; y éstos, a su vez, a la emulsión que circula -

por su interior.

Los tubos deben ser inspeccionados regularmente para observar el grado de corrosión e incrustamiento. La aplicación directa del fuego a los tubos, a menudo provoca que ciertas áreas estén más expuestas a corrosión e incrustamiento que otras; además, durante los periodos en que el fluido permanece estático dentro del calentador, la emulsión puede calentarse a tal grado que parte de ésta se evapore. Lo anterior frecuentemente conduce al tapo namiento de los tubos del calentador debido a las sales contenidas en el agua, disminuyendo así su eficiencia por, lo que es recomendable inspeccionar y efectuar operaciones de limpieza o sus titución de los tubos cuando sea necesario.

Los calentadores tubulares son más usados en sistemas donde se tiene flujo estable, a baja presión, y las emulsiones producidas tienen muy poca tendencia a la depositación de incrustaciones -- cuando son sometidas al proceso de calentamiento.

- Calentadores con tubos concéntricos o enchaquetados.

Este tipo de dispositivos ~~de calentamiento~~ pueden usarse tanto en tratadores horizontales como verticales. Constan de dos tubos concéntricos, el externo o coraza y el interno o cámara de combustión interna. Este último realiza la función de calentamiento, y se encuentra rodeado por el fluido que va a ser calentado, el cual entra por el espacio anular entre la coraza y el tubo ca

lentador. La emulsión entra por la parte inferior del tratador, se calienta y descarga cerca de la parte superior. Estos dispositivos de calentamiento son susceptibles a un mal funcionamiento, si no se les aplica operaciones de limpieza en forma regular; no se debe permitir la acumulación de sedimentos en la parte inferior del tratador. Este tipo de calentadores son adecuados para calentar hidrocarburos ligeros no corrosivos, con bajo contenido de sedimentos y a un gasto constante.

- Calentadores volumétricos con cámara de combustión interna.

Este tipo de dispositivos de calentamiento constan de un recipiente horizontal Figura 13, o vertical Figura 14, que puede operar a presión. Generalmente el diseño de estos equipos es de tal forma que la cámara de combustión interna se puede extraer para su mantenimiento y limpieza.

Su forma de operar es la siguiente: el fuego se produce en el interior de la cámara al quemar el combustible, y los gases de combustión fluyen por el interior del tubo de calentamiento. La emulsión entra al equipo a través de un tubo distribuidor localizado abajo de la sección de calentamiento, y fluye hacia afuera de éste por la parte superior. El tubo distribuidor permite que la emulsión se uniformice en la sección de calentamiento, previniendo así un flujo irregular, esto a fin de evitar que el fuego dañe algunas partes del equipo.

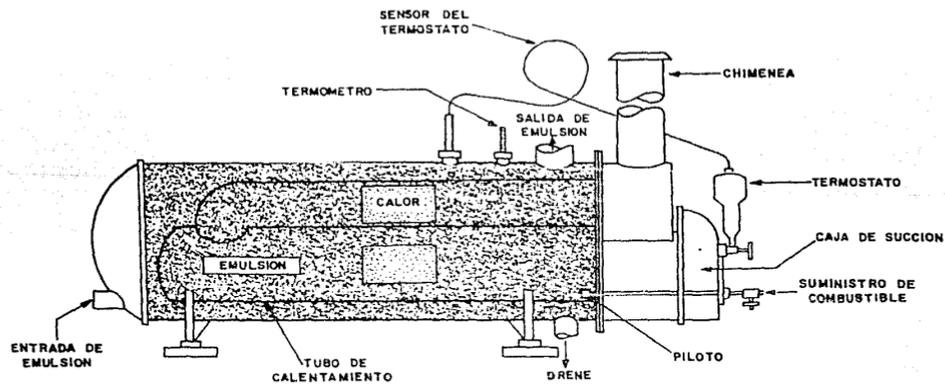


FIGURA 13

**CALENTADOR DE FUEGO DIRECTO
DE TIPO HORIZONTAL
CON CAMARA DE COMBUSTION INTERNA**

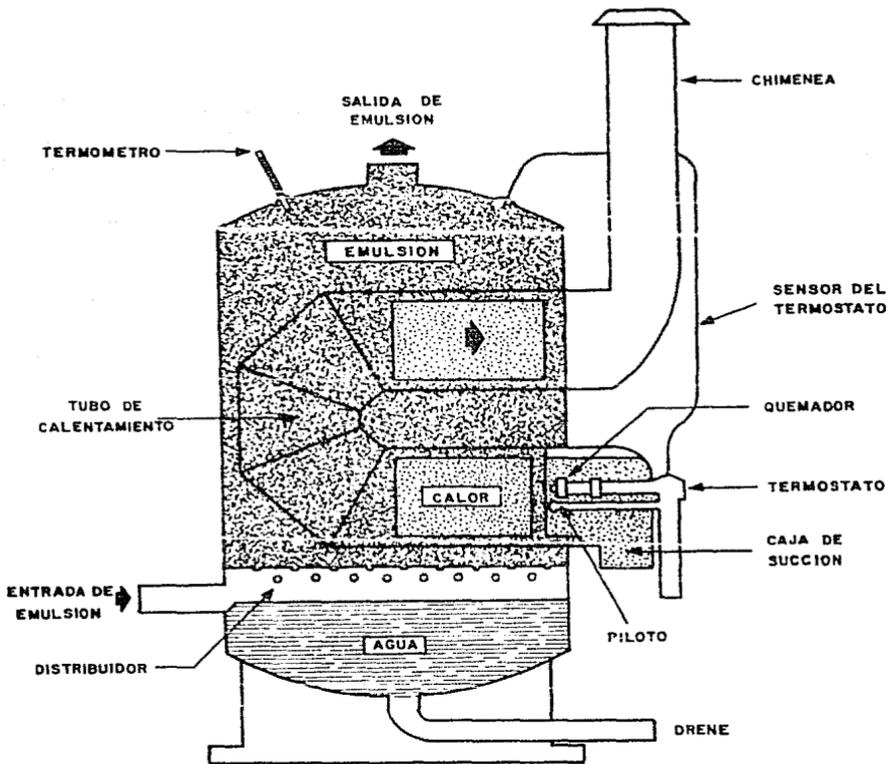


FIGURA 14

**CALENTADOR DE FUEGO DIRECTO
 DE TIPO VERTICAL
 CON CAMARA DE COMBUSTION INTERNA**

En un calentador con cámara de combustión interna, el efecto de corrosión es un factor muy serio; no así el efecto de incrustación, por lo que estos equipos pueden usarse confiablemente para calentar emulsiones no corrosivas y con flujo prácticamente constante. Para poner en operación este tipo de calentadores, por lo común se llenan con agua hasta un cierto nivel. El paso de la emulsión a través del recipiente permite que ésta tenga una acción de lavado con el agua caliente, lo que ayuda al rompimiento de la emulsión.

Dispositivos de calentamiento de fuego indirecto.

Estos dispositivos de calentamiento, como su nombre lo indica, proporcionan energía calorífica de manera indirecta mediante un fluido, el cual previamente es calentado para transmitir el calor a la emulsión.

Un dispositivo de calentamiento con fuego indirecto como el que se ilustra en la Figura 15, consta de tres partes principales:

- 1.- El cuerpo del calentador.
- 2.- La sección de combustión interna.
- 3.- El haz de tubos de flujo.

La sección de combustión interna y el haz de tubos de flujo pueden estar fijos al cuerpo del calentador, aunque esto no se recomienda a fin de facilitar las operaciones de limpieza, inspección y reemplazo.

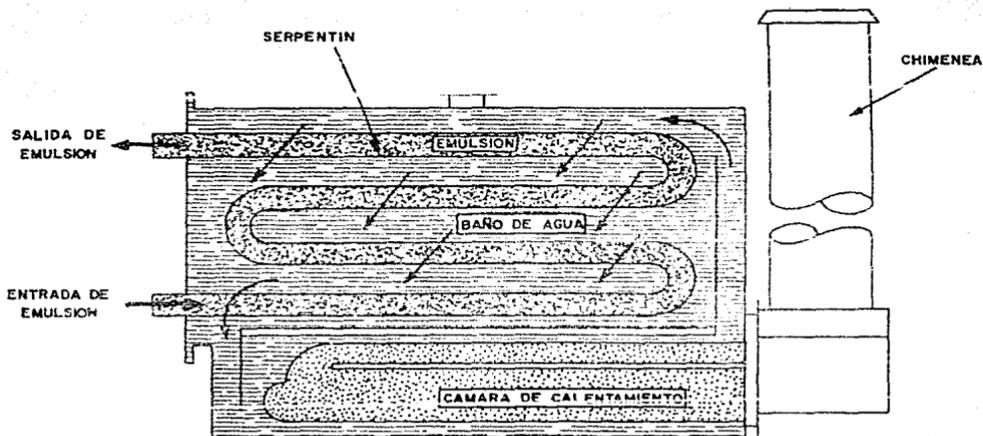


FIGURA 15

**ESQUEMA DE UN DISPOSITIVO DE CALENTAMIENTO
CON FUEGO INDIRECTO**

Estos dispositivos transmiten el calor en forma indirecta a través de un fluido (agua o aceite térmico), que se encuentra dentro del recipiente de calentamiento, a la emulsión.

Un dispositivo de calentamiento indirecto es más fácil de operar - que uno de calentamiento directo. debido a que el fuego no va directo a los tubos conductores de flujo.

Con el uso de este tipo de calentadores, se minimiza el efecto de incrustaciones, y se reduce la probabilidad de falla en los tubos de calentamiento.

Mantenimiento y operación de los equipos de calentamiento.

La eficiencia de operación y tiempo de servicio de un calentador, depende en gran parte del mantenimiento y la forma en que se opera el equipo. En lo que se refiere al mantenimiento del equipo, éste consiste básicamente en operaciones de limpieza en forma periódica, sobre todo a las partes que están más expuestas al fuego, a fin de observar el grado de corrosión e incrustamiento de los - tubos calentadores, codos de retorno, etc. Otra parte importante es el control del termostato y las condiciones de flujo de la emulsión que entra al tratador.

Existen diferentes formas de operar un equipo de calentamiento; - sin embargo, los siguientes pasos son seguros y adecuados para po

ner en funcionamiento a los equipos de calentamiento.

Procedimiento de arranque.

- 1.- Cerrar la válvula de entrada de gas y esperar aproximadamente cinco minutos para eliminar la presencia de éste en el calentador.
- 2.- Hacer fluir la emulsión en los tubos de flujo, recirculándola.
- 3.- Verificar que el nivel del fluido esté por arriba del serpentín de calentamiento y el termostato.
- 4.- Encender un trapo empapado de combustible y mantenerlo cerca del piloto.
- 5.- Girar el piloto a la posición de encendido y permitir que arda durante algunos minutos.
- 6.- Ajustar el termostato a la temperatura deseada.
- 7.- Abrir la entrada de suministro de gas al quemador.

El encender en forma inadecuada un equipo de calentamiento puede provocar accidentes al personal y daños al equipo. Una causa -- obvia de un tratamiento inadecuado de las emulsiones es que el calentador se apague al estar operando; el piloto puede apagarse ocasionalmente debido al viento o como resultado de un mal ajuste en el suministro de gas combustible.

Otra causa de falla del equipo, es un ajuste inadecuado de la relación aire-gas combustible; esta relación debe ser tal que la flama sea de color azul. El piloto debe estar colocado a $1/2$ ó $3/4$ de pulgada del quemador. Una razón adicional de que falle -

frecuentemente el quemador es la presión a la que se suministra el gas; cuando ésta es alta, apaga el piloto al operar el quemador, por lo que para evitar esta situación, se recomienda que el regulador de gas sea operado a una presión entre 5 y 10 lb/pg².

Procedimiento de paro.

- 1.- Cortar el suministro de gas combustible al calentador.
 - 2.- Cerrar el piloto.
 - 3.- Recircular la emulsión en el equipo para disminuir paulatinamente la temperatura en el equipo.
 - 4.- Cerrar la válvula de entrada de emulsión al calentador.
 - 5.- Descargar la emulsión.
 - 6.- Inundar el equipo con agua.
- Control de la temperatura.

El control de la temperatura es una parte muy importante en un calentador; si llega a fallar, el calentador quedará funcionando por un tiempo excesivo o dejará de hacerlo antes de lo requerido, ambas situaciones son dañinas. Si el quemador permanece apagado, la emulsión puede enfriarse a tal grado que no pueda ser destruida. En cambio si permanece encendido puede darse un sobrecalentamiento y como consecuencia daños al equipo; adicionalmente, un calentamiento excesivo de la emulsión resulta en una pérdida real de volumen del aceite tratado al evaporarse algunos componentes ligeros.

ros, disminuyendo así su gravedad API. Todo lo anterior ocasiona pérdidas económicas, por tal razón es recomendable aplicar operaciones de limpieza e inspección al equipo en forma periódica, a fin de tener un buen control de la temperatura.

La sección de combustión interna y tubos calentadores deben ser inspeccionados en forma periódica, así también debe revisarse la presencia de moho, materiales corrosivos e incrustantes. Ningún tipo de calentador tiene un período específico de inspección y limpieza, ya que depende de las condiciones de operación y de las características de la emulsión a tratar.

Cuando hay presencia de materiales corrosivos o incrustantes, la cámara de combustión interna debe extraerse para su limpieza o --reemplazo, dependiendo de sus condiciones. Prácticamente todos los aceites que son tratados contienen ciertas cantidades de lodo y materiales sólidos; por esta razón la mayoría de los calentadores tienen en el fondo una válvula de drene que puede abrirse para eliminar dichos materiales.

II.6 Equipos Convencionales de Tratamiento de Emulsiones.

Un tratador convencional, llamado también "Tratador de emulsiones" o "Tratador térmico", es un equipo que combina prácticamente todos los elementos que intervienen en el tratamiento de emulsiones. Cuando en el proceso se usan reactivos químicos y calor se le llama "Tratador termoquímico"; cuando además se aplica electricidad, a fin de acelerar el proceso de deshidratación, entonces se le conoce como "Tratador termoelectroquímico".

Dependiendo de los requerimientos del proceso, un tratador convencional puede diseñarse de tal manera que en una misma unidad puedan incluirse uno, o todos los elementos siguientes:

- 1.- Separación de aceite y gas.
- 2.- Eliminación de agua libre.
- 3.- Sección de calentamiento.
- 4.- Sección de agua de lavado.
- 5.- Sección de filtrado.
- 6.- Sección de estabilización.
- 7.- Sección de intercambio de calor.
- 8.- Sección de campo electrostático.

Pueden hacerse muchas modificaciones al principio básico de diseño de los tratadores; esto es, alguna de las funciones pueden ser de mayor importancia que otra, dependiendo de las características de la emulsión (base del diseño). Por ejemplo, un tratador tér-

mico puede tener una gran capacidad de eliminación de agua o baja adición de calor, y puede o no tener una sección de filtración; - en otras palabras, un tratador puede diseñarse para trabajar bajo ciertas condiciones y manejar diversos volúmenes de emulsión. Algunos son diseñados para operar bajo condiciones climáticas extremadamente frías, otros para tratar aceites con alto contenido de espuma, etc.

La selección del equipo de tratamiento adecuado para ciertas condiciones de operación, es una decisión con cierto grado de complejidad, pues para llevarse a cabo, deben analizarse previamente varios factores involucrados en el diseño del equipo.

Los equipos de tratamiento convencionales pueden ser operados a presión atmosférica, pero comúnmente trabajan a ciertos niveles - de presión.

Tratadores verticales

En un tratador vertical convencional, como el que se ilustra en - la Figura 16, la emulsión usualmente pasa a través de un intercambiador de calor, donde es precalentada por el aceite limpio que sale del tratador; de ahí entra al recipiente y cae hacia el fondo a - través de un bajante (tubo conductor), distribuyéndose uniformemente por medio de un difusor. En esta parte el agua que está libre se asienta en el fondo del recipiente, y la emulsión fluye en forma ascendente a través del colchón de agua, la cual sirve como

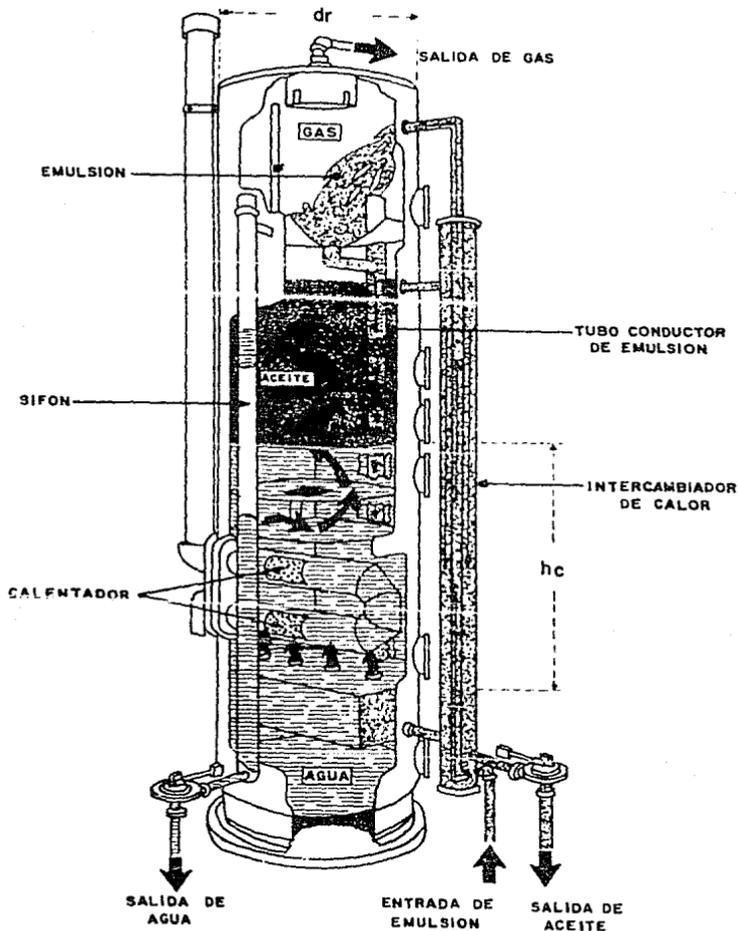


FIGURA 16

DIAGRAMA DE UN TRATADOR TERMOQUIMICO VERTICAL

un medio de lavado; la emulsión a su vez es calentada por medio de un tubo de calentamiento colocado en el interior del tratador, como se puede ver en la figura.

El efecto del lavado con agua, en conjunción con la acción del calor, facilita en gran parte la separación del agua emulsionada en el aceite. El agua, producto del rompimiento de la emulsión, es drenada hacia el fondo del recipiente a contraflujo del aceite y de ahí fluye hacia la línea de descarga, la cual es controlada por una válvula que se encuentra en el exterior del equipo.

El aceite limpio fluye hacia la parte superior hasta alcanzar la línea de salida del tratador, pasando nuevamente por el intercambiador de calor, quedando en condiciones de enviarse a un tanque de almacenamiento, mientras que el agua drenada se traslada hacia un sistema de tratamiento y desecho.

La sección de asentamiento de agua en un tratador vertical ocupa aproximadamente un 60% de la columna dentro del recipiente, y la sección de aceite y gas ocupa el 40% restante.

La altura de la interfase entre el agua y el aceite generalmente se controla por medio de un sistema de sifón. Aunque ésta no requiere ajustarse en forma muy frecuente, ocasionalmente en algunos tratamientos, es necesario que dicha altura se incremente o disminuya. El ajuste de nivel se realiza en el sifón; subiendo -

la altura de éste aumenta la de la interfase y viceversa. En algunos tratadores, un niple ajustable que puede colocarse en la línea de descarga del agua, permite controlar la altura del sifón.

Los intercambiadores de calor son incorporados a muchos modelos de equipos de tratamiento, así la emulsión es precalentada por el calor transferido del aceite limpio que sale del tratador.

Tratadores horizontales

Los equipos convencionales de tratamiento de tipo horizontal, Figura 17, operan en forma similar a los tratadores verticales.

Luego que se agrega reactivo a la emulsión, ésta es enviada al tratador pasando a través del intercambiador de calor; de ahí desciende hacia el interior del recipiente y pasa a través de la sección de calentamiento la cual se encuentra inundada con agua.

El agua que no está emulsionada se asienta en el fondo, de donde se descarga por medio de una válvula para su tratamiento y desecho. La emulsión fluye hacia arriba y luego en forma horizontal a la segunda sección donde se separan el agua y el aceite.

Generalmente los tratadores horizontales tienen una sección de asentamiento mayor que los verticales, son más económicos y pueden instalarse más fácilmente, aunque ocupan mayor espacio. Un

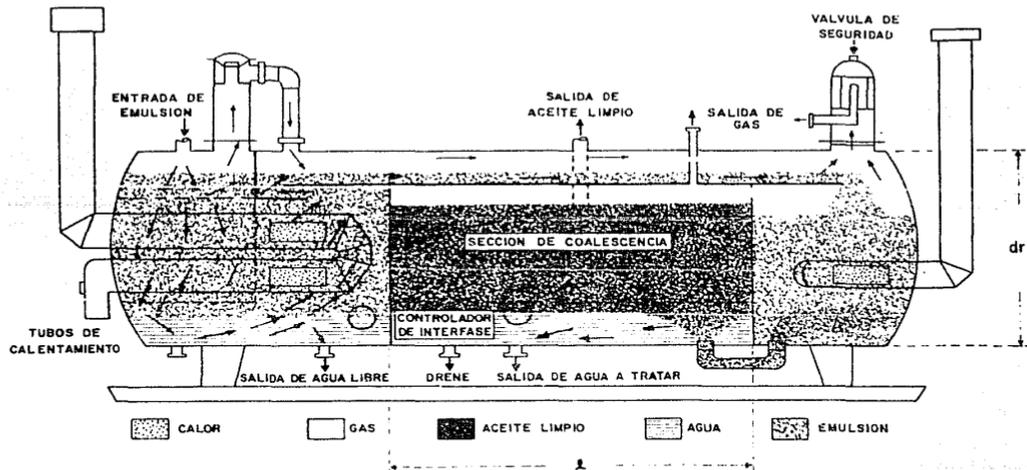


FIGURA 17

DIAGRAMA DE UN TRATADOR TERMOQUIMICO HORIZONTAL

tratador horizontal, es de hecho un tratador vertical acostado; - ambos constan de las mismas partes y realizan las mismas funciones. La principal diferencia entre ellos consiste en la forma de controlar el nivel de la interfase agua-aceite; en un tratador horizontal se utiliza un control de nivel tipo flotador, en cambio en uno vertical dicho control se mantiene por medio de una columna variable de agua (sifón).

La decisión de utilizar un tratador vertical o uno horizontal, tiene varios aspectos que deben analizarse. El primero es la altura de la columna de líquido, a través de la cual deben caer las partículas de agua para separarse del aceite. También la eficiencia de asentamiento está íntimamente relacionada con el área de la interfase agua-aceite; la rapidez con que el aceite limpio se separa de la interfase, determina la eficiencia del asentamiento. Por otra parte, a mayor área de interfase, se tiene más capacidad del recipiente, por esta razón los tratadores horizontales tienen mayor capacidad que los verticales. El área de la interfase en un recipiente vertical, está limitada por su diámetro; en cambio en uno horizontal, sólo depende del tamaño de la sección de coalescencia dentro del equipo.

II.7 Deshidratación Electroestática.

Tratadores electroestáticos.

El tratamiento del aceite crudo por medios electroestáticos, es solamente otra forma de acelerar el efecto de asentamiento de las partículas de agua por acción de la gravedad; con lo que es factible disminuir las dimensiones de los recipientes de tratamiento.

Un tratador como el que se ilustra en la Figura 18, el cual comúnmente se conoce como "Tratador electroestático", no rompe la emulsión únicamente con la aplicación de electricidad, siendo necesario, en la mayoría de los casos, adicionar agentes químicos y aplicar calor. Una unidad electroestática es de hecho un equipo de tratamiento horizontal, a la cual se le aplica corriente eléctrica de alto voltaje por medio de unas rejillas (electrodos) colocadas en la sección de asentamiento en el interior del recipiente, creando de esta forma, un campo eléctrico en el área comprendida entre los dos electrodos, como se puede observar en la figura.

La dirección de flujo que sigue la emulsión para su tratamiento, es la misma de un equipo de tratamiento termoquímico horizontal, sólo que en lugar de que la emulsión pase por la sección de calentamiento, ésta entra a la región de un campo eléctrico. Cuando las partículas de agua (las cuales poseen carga eléctrica) - que aún prevalecen en el aceite se encuentran dentro de un campo eléctrico, aceleran su movimiento de tal forma que se provocan -

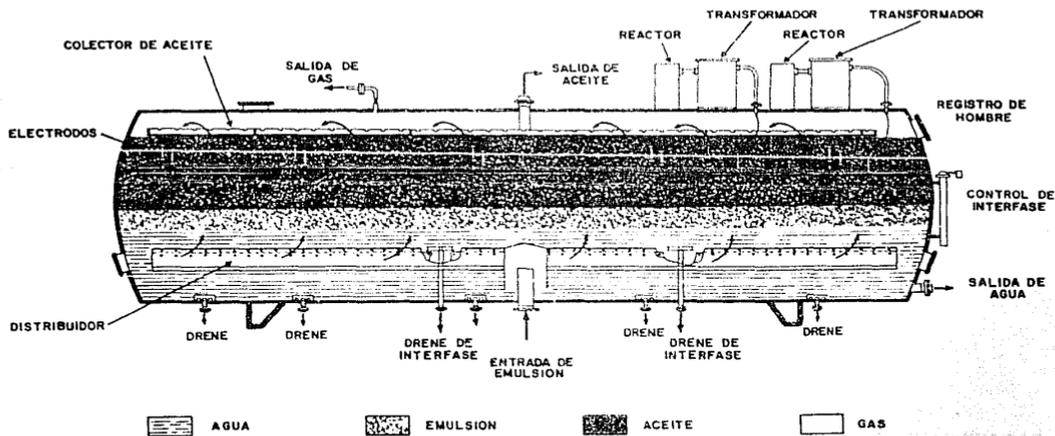


FIGURA 18

DIAGRAMA DE UN TRATADOR ELECTROSTATICO

choques entre ellas, dando como resultado que se formen gotas mayores, las cuales se drenan hacia el fondo del recipiente por efecto de gravedad.

El aceite limpio continúa fluyendo en forma ascendente hacia la línea de salida localizada en la parte superior del equipo, para de ahí ser enviado hacia el tanque de almacenamiento.

El sistema eléctrico consiste de transformadores y dos electrodos, de tal forma que el área de su sección transversal es perpendicular al flujo de líquidos, condición necesaria para que actúe un campo eléctrico sobre una partícula de agua con cargas libres.

La distancia entre los electrodos es ajustable, esto con el fin de variar el voltaje, según los requerimientos del proceso. Existen interruptores de corriente, accionados con sistema de flotador, para prevenir daños a la unidad cuando se suscitan cambios en el nivel de líquido.

En los campos petroleros es común que la mayor parte del agua contenida en la emulsión, se separe por la acción de los agentes químicos y el calor. En esta forma, el porcentaje de agua en el aceite, antes de entrar al deshidratador electrostático, es muy bajo (aproximadamente de 1 a 5%); así, la acción del campo eléctrico sobre la corriente de líquido es de poca intensidad, debi-

do a que el aceite es mal conductor de la corriente eléctrica (die léctrico); lo anterior da como resultado que el consumo de energía por este concepto sea bajo.

Por medio de un amperímetro es posible medir el flujo de corriente en las rejillas, esta lectura es muy importante para la operación adecuada del tratador. Dado que el aceite no es buen conductor, la cantidad de corriente eléctrica en los electrodos depende de la cantidad de agua prevaeciente en el mismo.

Un incremento en la lectura del amperímetro, bajo condiciones normales de operación, se puede deber a:

- Disminución o suspensión de la inyección del agente químico de semulsificante o bien, aplicación excesiva del mismo.
- Calentamiento insuficiente de la emulsión, debido a una baja temperatura en la sección de calentamiento.

El uso de unidades electrostáticas es recomendable para procesos de tratamiento donde no es posible alcanzar altas temperaturas, o donde el uso de calor causa problemas de operación y daños al equipo de tratamiento. En algunos casos, es posible tratar emulsiones a temperatura de flujo, obteniendo así un ahorro de combustible para calentar la emulsión, reduciéndose además los problemas ocasionados por la formación de incrustaciones y efectos de corrosión, principalmente en la sección de calentamiento. Por otra parte, con el uso de estos equipos se evitan pérdidas -

en el volumen de aceite tratado, así como de su gravedad API debido a las altas temperaturas.

II.8 Asentamiento.

La deshidratación del aceite crudo es esencialmente un proceso - de separación por gravedad; ésta proporciona la fuerza natural - requerida para remover las partículas de agua que se encuentran - dispersas en el aceite.

El asentamiento es la última etapa en la deshidratación del aceite; es en esta parte del proceso donde el tiempo de retención actúa sobre la corriente de líquido, a fin de propiciar la separación del agua y el aceite.

En los dispositivos utilizados para el tratamiento del aceite, el tiempo de residencia limita el volumen a tratar; dicho de otra forma, la capacidad de tratamiento depende del tiempo en que el - aceite con agua emulsionada permanezca en el equipo de asentamiento.

El tiempo necesario para que las partículas de agua de menor tamaño se asienten en el fondo del recipiente, es uno de los parámetros de diseño más importantes, su efecto puede analizarse mediante la ley de Stokes, la cual se describe en el capítulo I de este trabajo.

Originalmente, el tratamiento del aceite se efectuaba en tanques - verticales elevados, a presión ambiente, de tal forma que el efec

to de la gravedad permitía el flujo del aceite limpio hacia los tanques de almacenamiento. En la actualidad las especificaciones establecidas para el manejo del aceite tratado, en cuanto a su grado de limpieza, han ocasionado que se utilicen adicionalmente aditivos químicos desémulsificantes, y tratadores verticales y horizontales para el calentamiento de la emulsión.

El equipo más comúnmente usado para permitir el asentamiento final del agua separada, luego que se ha agregado el reactivo desémulsificante y se ha aplicado calor a la emulsión, se le conoce como tanque "deshidratador".

Tanque deshidratador (Gun Barrel),

Básicamente un tanque deshidratador, también llamado "Gun Barrel", es un tanque de asentamiento por gravedad. Este equipo, el cual posee un dispositivo en su parte superior para la eliminación del gas separado "flume", está constituido esencialmente de cinco partes, cada una de las cuales cumple uno o más propósitos específicos, Figura 19.

- 1.- Línea de entrada; es el tubo que conduce la emulsión procedente del separador gas-aceite hacia el deshidratador.
- 2.- Tubo conductor; a través de éste pasa la emulsión antes de entrar al fondo del deshidratador, y cumple las siguientes funciones:
 - a) separar el gas de la emulsión y reducir la turbulencia en el interior del tanque deshidratador.

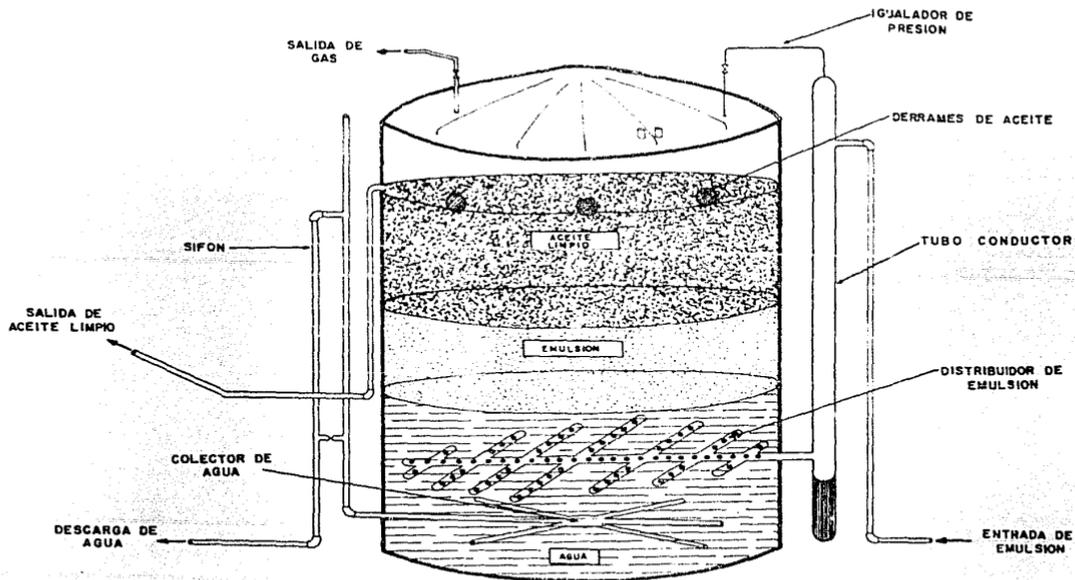


FIGURA 19

DIAGRAMA TIPICO DE UN TANQUE DESHIDRATADOR GUNBARREL

- b) sirve como sección de amortiguamiento al disminuirse la presión de entrada de la emulsión.
 - c) permite a la emulsión distribuirse uniformemente a través del colchón de agua de lavado. Esto, mediante un difusor ubicado en el fondo del tubo conductor.
- 3.- Cuerpo del deshidratador: éste contiene un volumen de agua en su interior, conocido como "colchón de agua", el cual sirve de lavado a la emulsión.
- 4.- Línea de salida del agua, constituida por un sifón. Esta tiene dos propósitos:
- a) proporcionar una salida para el agua separada.
 - b) regular la altura del colchón de agua en el tanque deshidratador.
- 5.- Línea de salida del aceite; ésta conduce el aceite limpio del tanque deshidratador al de almacenamiento.

La acción que tiene lugar en un tanque deshidratador consta de dos etapas básicas: lavado y asentamiento. El lavado ocurre en el colchón de agua, mientras que el asentamiento se efectúa en el estrato de emulsión. La altura del colchón se puede variar de acuerdo al tipo de emulsión a manejar.

El sistema de descarga del agua en los tanque deshidratadores está constituido por un sifón como el que se ilustra en la Figura 20, el cual funciona de la siguiente manera: el agua pasa a través de un tubo en forma ascendente hasta entrar en el tubo ajustable. El nivel de la interfase se puede modificar cambiando la al

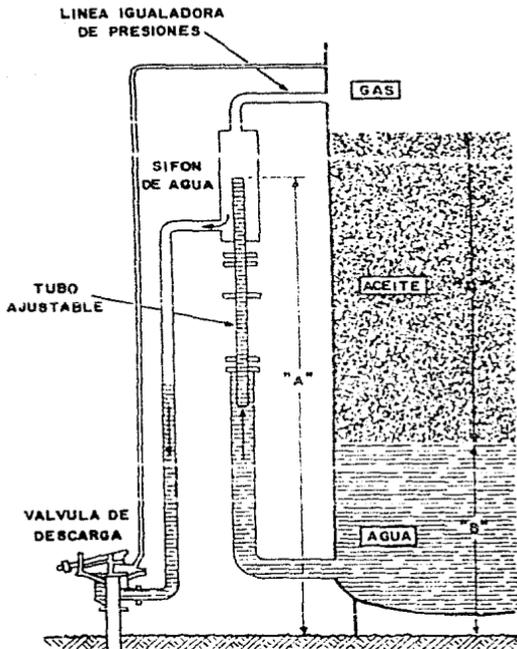


FIGURA 20

DIAGRAMA DEL SISTEMA DE DESCARGA DE UN DESHIDRATADOR

tura de dicho tubo. A través del tubo igualador se mantiene una misma presión en el tratador y en el sifón; por lo tanto, el flujo del tratador al sifón depende solamente de los niveles mantenidos en el deshidratador.

Con referencia a la Figura 20, la altura de la columna "A" en el tubo ajustable, será tal que su peso por unidad de área es igual a los pesos combinados por unidad de área del agua y el aceite - en el interior del deshidratador. Debido a que el agua es más pesada que el aceite, una columna de agua "A" menor, equilibra - una columna de agua "B" y de aceite "C". Subiendo el tubo ajustable, se elevará la interfase agua-aceite. Al llegar a la cima del tubo ajustable, el agua se derrama a un tubo de drene; en el cual al alcanzarse una determinada carga hidrostática, automáticamente se acciona una válvula de descarga para permitir la salida del agua.

III. DISEÑO DE EQUIPOS DE TRATAMIENTO DE ACEITE CRUDO

Generalmente, el uso de separadores gravitacionales es suficiente para separar la mayor parte del agua contenida en el aceite; sin embargo, como se mencionó al principio de este trabajo, existen especificaciones para la entrega del aceite tratado, ya sea a refinerías o para exportación; esto hace necesario el uso de equipos de tratamiento especiales a fin de eliminar prácticamente en su totalidad el agua e impurezas contenidas en el aceite.

El diseño de los equipos de tratamiento "térmicos", es un problema relativamente complejo debido a la cantidad de parámetros involucrados. Este se basa en los análisis de laboratorio (pruebas de botella) de los aceite producidos y en la experiencia de campo; desafortunadamente, las condiciones prevalecientes en campo, no siempre pueden evaluarse en forma confiable; por esta razón el diseño de tratadores térmicos horizontales y verticales que se discutirá, es una aproximación a la solución exacta; que sin embargo, es funcional para resolver problemas sobre dimensionamiento de equipos de tratamiento de aceite crudo.

A fin de obtener el método de tratamiento más apropiado, deben considerarse los siguientes factores que son de importancia en la determinación de las dimensiones del recipiente; éstos son:

- 1.- Estabilidad de la emulsión (suave o dura).

- 2.- Densidad del aceite y agua producidos.
- 3.- Corrosividad de los fluidos producidos.
- 4.- Tendencia del agua producida a la formación de incrustaciones.
- 5.- Cantidad de emulsión a tratar y porcentaje de agua presente.
- 6.- Tendencia del aceite producido a la depositación de parafinas.
- 7.- Presión de operación adecuada del equipo de tratamiento.

Una forma común de separar el agua emulsionada en el aceite consiste en la adición de reactivos químicos desemulsificantes y, en caso necesario, la aplicación de calor. Al incrementar la temperatura de las emulsiones, se logra en la mayoría de los casos:

- disminución de la viscosidad del aceite emulsionado.
- floculación de las gotas de agua debido a: la disminución en la resistencia de la película emulsionante, el aumento del volumen de las gotas y el incremento de los choques entre ellas.
- incremento en la diferencia de densidades entre el agua y el aceite.

La floculación de las gotas de agua propicia su coalescencia, con lo que aumentan de tamaño de tal forma que se asientan más fácil y rápidamente. Para esto se requiere que las gotas tengan un tiempo de contacto adecuado, considerando además que el efecto de floculación actúa sobre las partículas coalescidas. Consecuentemente, el diseño del recipiente está en función de la temperatura, del -

tiempo de contacto, de la viscosidad del aceite y de las dimensio
nes del tratador, los cuales determinan la velocidad de asentamien
to de las partículas de agua.

III.1 Aspecto Teórico.

Ecuaciones de asentamiento.

Las consideraciones principales para el asentamiento de las partículas de agua son:

- La diferencia de densidades entre las partículas de agua dispersas y el aceite; ésta permite que el agua se asiente en el fondo del recipiente de tratamiento.
- Si el régimen de flujo alrededor de las gotas de agua es laminar, es posible aplicar la ley de Stokes.
- La velocidad descendente de la partícula de agua, debe ser suficiente para vencer la velocidad ascendente del aceite que fluye a través del tratador.

Igualando la velocidad de asentamiento del agua, a la velocidad ascendente del aceite, se pueden derivar las siguientes ecuaciones de dimensionamiento:

Tratadores Horizontales:

$$d r_1 = 438 Q_0 M_0 / ((\gamma_w - \gamma_o) d w^2) \dots \dots \dots (2)$$

Tratadores Verticales:

$$d r = 81.8 Q_0 M_0 / ((\gamma_w - \gamma_o) d w^2) \dots \dots \dots (3)$$

donde:

- dr = diámetro del recipiente (pg)
- l = longitud de la sección de coalescencia (pies)
- Qo = gasto de aceite (blo/día)
- Mo = viscosidad del aceite (cp)
- γ_w = densidad relativa del agua separada
- γ_o = densidad relativa del aceite (agua = 1)
- dw = diámetro de la partícula de agua (micras)

Como se puede observar, la altura de la sección de coalescencia - para un tratador vertical no aparece en la ecuación de asentamiento; esto se debe a que el área de la sección transversal al flujo para la velocidad ascendente del aceite, sólo es función del diámetro del recipiente. En un tratador horizontal, el área de la - sección transversal para el flujo ascendente del aceite, es una - función del diámetro por la longitud de la sección de coalescencia.

Ecuaciones de tiempo de residencia.

El aceite debe mantenerse a cierta temperatura, por el tiempo necesario para romper la emulsión. El tiempo de residencia es un parámetro muy importante que debe ser obtenido en el laboratorio; sin embargo, en ausencia de este dato, un tiempo estimado de 20 a 30 minutos proporciona resultados satisfactorios.

Dependiendo de las propiedades específicas del fluido a tratar, las dimensiones del equipo requeridas para proporcionar un cier-

to tiempo de residencia al aceite, pueden ser mayores o menores a las dimensiones que satisfacen la ecuación de asentamiento. La geometría del recipiente, se determina por una combinación de los dos criterios (ecuaciones de: asentamiento y tiempo de residencia), seleccionando aquellas dimensiones que satisfagan ambos simultáneamente.

Las ecuaciones para el tiempo de residencia son las siguientes:

Tratadores Horizontales:

$$dr^2l = tr Q_0/1.05 \dots\dots\dots(4)$$

Tratadores Verticales:

$$dr^2hc = tr Q_0/0.12 \dots\dots\dots(5)$$

donde:

- dr = diámetro del recipiente (pg)
- l = longitud de la sección de coalescencia (pies)
- tr = tiempo de residencia (minutos)
- hc = altura de la sección de coalescencia (pg)
- Q₀ = gasto de aceite (blo/día)

Efectos de la temperatura.

La adición de calor a la corriente de emulsión agua-aceite es de gran ayuda en la separación de las fases. El calor reduce la viscosidad del aceite permitiendo una mayor velocidad de asentamiento de las partículas de agua; esto se puede deducir de las ecuaciones 2 y 3. En ausencia de datos de laboratorio, pueden emplear

se correlaciones para obtener la viscosidad del aceite. En el procedimiento de diseño descrito, se usa la correlación desarrollada por Beggs y Robinson, representada por las siguientes expresiones:

$$M_o = 10^x - 1 \dots\dots\dots (6)$$

$$x = y T^{-1.163} \dots\dots\dots (7)$$

$$y = 10^{(3.0324 - 0.02023 \text{ API})} \dots\dots\dots (8)$$

donde:

M_o = viscosidad del aceite (cp)

T = temperatura del aceite ($^{\circ}F$)

API = gravedad API del aceite residual

Como se mencionó anteriormente, la adición inadecuada de calor al proceso de tratamiento, puede provocar la evaporación de algunos componentes ligeros, disminuyendo el precio y el volumen del aceite tratado, además de causar daños al equipo.

El calor requerido, y por lo tanto el combustible necesario para el tratamiento, depende de la temperatura a la cual debe calentarse el aceite; el agua requiere aproximadamente el doble de calor que el aceite para mantenerse a una misma temperatura, por lo que es recomendable separar el agua libre antes de calentar la emulsión.

Considerando que el porcentaje de agua remanente es de 10% o me-

nor, y que el tratador se encuentra aislado para minimizar las -
pérdidas de calor, la cantidad de calor requerido para destruir
la emulsión puede obtenerse con la siguiente ecuación:

$$q = 16 Q_o \Delta T (0.5 \gamma_o + 0.1) \dots\dots\dots(9)$$

donde:

q = calor requerido (btu/h)

Q_o = gasto de aceite (blo/día)

T = incremento de temperatura (°F)

γ_o = densidad relativa del aceite (agua = 1)

Tamaño de la partícula de agua.

Antes de llevar a cabo el diseño de un equipo de tratamiento, de
be determinarse el tamaño de la partícula de agua; por lo común,
este dato no se tiene para un sistema dado. El tamaño de la go-
ta se incrementa con el tiempo de asentamiento y la adición de -
calor, debido a que el sistema se agita y se multiplica el núme-
ro de colisiones entre las partículas de agua. Por el contrario,
cuando se incrementa la viscosidad del aceite, disminuye el tama-
ño de las gotas al inhibirse su movimiento y disminuir la fuerza
de colisión entre ellas.

Después de un período inicial en el tratamiento, se puede obser-
var que el tiempo de residencia influye muy poco en la velocidad
de crecimiento de la partícula de agua, por lo que para fines prác-
ticos de diseño, el manejar tiempos de retención de 10 a 60 minu-
tos no es una variable muy significativa. Por el contrario, es
de esperarse que la viscosidad del aceite tenga mucho mayor efec-

to sobre la coalescencia del agua emulsionada.

Desde este punto de vista, la siguiente expresión proporciona valores razonables del tamaño de las partículas de agua.

$$d_w = 500 M_o^{-0.675} \dots\dots\dots (10)$$

donde:

d_w = diámetro de la partícula de agua (micras)

M_o = viscosidad del aceite (cp)

Esta ecuación se muestra gráficamente en la Figura 21; sin embargo, es importante mencionar que dicha gráfica debe usarse sólo en ausencia de datos de laboratorio, ya que es una relación basada en experiencia de campo.

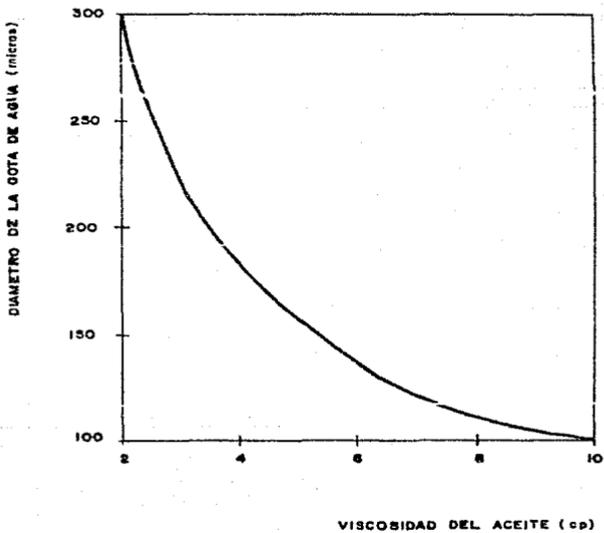


FIGURA 21

**VISCOSIDAD DEL ACEITE CONTRA DIAMETRO
DE LA PARTICULA A SEPARAR**

III.2 Procedimiento de Diseño.

Para diseñar un equipo de tratamiento, es necesario determinar: el diámetro y la altura o longitud de la sección de coalescencia del recipiente. Como se puede analizar de las ecuaciones correspondientes, estas variables son interdependientes por lo que no es posible obtener una solución única. Debido a esto, el ingeniero de diseño debe seleccionar las dimensiones del recipiente de tratamiento más económico y con los mínimos requerimientos de calor.

Es importante mencionar que aunque las ecuaciones presentadas -- proporcionan soluciones prácticas al problema sobre el dimensionamiento de recipientes, debe tomarse en cuenta la naturaleza empírica de las mismas y considerar el criterio del ingeniero encargado de realizar el diseño.

El procedimiento general de diseño, para tratadores horizontales o verticales consiste en lo siguiente:

- 1.- Suponer una temperatura, mayor que la del aceite a la entrada del recipiente.
- 2.- Determinar la viscosidad del aceite a la temperatura supuesta, ecuación 6.
- 3.- Determinar el diámetro de la gota de agua que debe separarse del aceite a la temperatura supuesta, con la ecuación 10 ó - con la Figura 21.
- 4.- Determinar la geometría del recipiente (dr l ó dr), necesaria

para satisfacer la ecuación de asentamiento para recipientes horizontales (ecuación 2), o verticales (ecuación 3).

- 5.- Tabular los valores de T , M_o , d_w y d_r ó d_r .
- 6.- Graficar d_r vs l (suponer diferentes valores de d_r ó l de la ecuación 2).
- 7.- Determinar la cantidad de calor requerido para el proceso, ecuación 9.
- 8.- Suponer otra temperatura y repetir los pasos 2 a 7.
- 9.- Calcular la geometría del recipiente con las ecuaciones 4 ó 5 para recipientes horizontales ($d_r^2 l$) o verticales ($d_r^2 h_c$) respectivamente, estableciendo un tiempo de residencia de 20 minutos (o el obtenido a partir de pruebas de botella; si se cuenta con esta información).
- 10.- Graficar l vs d_r (recipientes horizontales), o h_c vs d_r (recipientes verticales), suponiendo cualquiera de ellos, al igual que en el paso 6.
- 11.- Seleccionar el recipiente con un diámetro " d_r " y longitud " l ", o altura " h_c " de sección de coalescencia, correspondientes a tiempos de residencia iguales o mayores que el establecido. Además el equipo seleccionado debe ser el más económico en cuanto a requerimientos de calor.

Este procedimiento permite determinar en forma aceptable las dimensiones de un equipo de tratamiento de aceite, cuando no se dispone de datos de laboratorio o éstos son escasos, no permitiendo un sobredimensionamiento del recipiente el cual, por supuesto, deberá incluir las secciones de eliminación de agua libre y de gas.

Sin embargo, determinando los parámetros más importantes como son ΔH y ΔG , así como la cantidad de calor requerido, el ingeniero de producción tendrá suficientes herramientas para hacer un análisis de mercado y seleccionar así el mejor equipo, en función de las necesidades del proceso de tratamiento.

III.3 Ejemplos de Aplicación.

Ejemplo 1. Dimensionamiento de un tratador horizontal.

Datos: $Q_0 = 5000$ blo/día
 $API = 30^\circ$, $\gamma_0 = 0.876$
 $T = 80^\circ F$
 $\gamma_w = 1.04$

Obtener las dimensiones del recipiente para temperaturas de tratamiento de: 100, 120, 140 y 160°F, considerando un tiempo de residencia de 20 minutos.

Solución:

Criterio 1: Ecuación de asentamiento.

a) Cálculos efectuados para $T = 100^\circ F$

- Diferencia de densidades.

$$\begin{aligned}\Delta w,0 &= \gamma_w - \gamma_0 = 1.04 - 0.876 \\ &= 0.164\end{aligned}$$

- Viscosidad del aceite.

De las ecuaciones 6, 7 y 8

$$\begin{aligned}Y &= 10^{(3.0324 - 0.02023 API)} \\ &= 10^{(3.0324 - 0.02023 \cdot 30)} \\ &= 266.379\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}X &= Y T^{-1.163} \\ &= 266.379 (100)^{-1.163} \\ &= 1.25748\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_o &= 10^x - 1 \\
 &= 10^{1.25748} \\
 &= 17.1 \text{ cp}
 \end{aligned}$$

- Diámetro de la partícula de agua.

De la ecuación 10:

$$\begin{aligned}
 d_w &= 500 M_o^{-0.675} \\
 &= 500 (17.1)^{-0.675} \\
 &= 73.6 \text{ micras}
 \end{aligned}$$

Este parámetro se puede determinar también con la Figura 21.

- Producto d_{r1} a partir de la ecuación de asentamiento, ec 2:

$$\begin{aligned}
 d_{r1} &= 438 Q_o M_o / ((\gamma_w - \gamma_o) d_w^2) \\
 &= 438 (5000) 17.1 / (0.164 (73.6)^2) \\
 &= 42154
 \end{aligned}$$

- Calor requerido para calentar la emulsión a 100°F

De la ecuación 9:

$$\begin{aligned}
 q &= 16 Q_o \Delta T (0.5 \gamma_o + 0.1) \\
 &= 16 (5000) (100-80) (0.5 * 0.876 + 0.1) \\
 &= 0.8608 \text{ MM btu/h}
 \end{aligned}$$

b) Siguiendo el mismo procedimiento se efectúan cálculos para temperaturas de 120, 140 y 160°F. Los resultados correspondientes se presentan en la tabla III*.

c) Con los valores de d_{r1} de la tabla III, para las diferentes temperaturas, se obtienen valores de d_r y l suponiendo uno de

* Las tablas y figuras correspondientes se presentan al final de cada ejemplo.

ellos, los resultados se presentan en la tabla IV.

- d) Los valores de las diferentes combinaciones de d_r y l , se muestran gráficamente en la Figura 22, obteniéndose una curva para cada temperatura.

Criterio 2: Ecuación de tiempo de residencia.

- a) Determinación del producto $d_r^2 l$.

De la ecuación 4, para un tiempo de residencia de 20 minutos:

$$\begin{aligned}d_r^2 l &= t_r Q_0 / 1.05 \\ &= 20(5000) / 1.05 \\ &= 95238\end{aligned}$$

- b) Con el valor de $d_r^2 l$ calculado y suponiendo diferentes valores de d_r , se obtienen los valores correspondientes de l ; estos se presentan en la tabla V.
- c) Las combinaciones de d_r y l , mostradas en la tabla V, se ilustran gráficamente en la Figura 22 por la curva cuya área inferior se encuentra sombreada.

La selección apropiada de los valores de d_r y l , considerando los dos criterios, dependerá de que se satisfagan los requisitos fijados por las ecuaciones de asentamiento y de tiempo de residencia. Es importante notar que el área sombreada de la gráfica (Figura 22), representa combinaciones de d_r vs l para tiempos de residencia menores a 20 minutos; por lo tanto los valores del diámetro " d_r " y longitud de la sección de coalescencia " l " del recipiente, deben ser del área no sombreada, esto para garantizar que efec

tivamente las gotas de agua tendrán el tiempo suficiente para asentarse en el fondo del recipiente.

Otros aspectos importantes que se deben considerar son: el que se refiere al consumo de energía y a la relación geométrica que debe guardar el recipiente. Como se puede observar en la tabla III, al aumentar el producto dr se reduce el consumo de calor requerido, disminuyendo consecuentemente el costo del equipo, así como los problemas de operación al trabajar a bajas temperaturas. Una relación práctica para mantener una proporción adecuada entre el diámetro y la longitud del recipiente, es de $l/dr=3$ aproximadamente.

Así pues, para la selección más adecuada de la geometría (dr, l) del tratador térmico horizontal, deben tomarse en cuenta todos estos criterios, así como la experiencia de campo del ingeniero de producción para diseñar el equipo más económico y que proporcione los mejores resultados.

Considerando los aspectos mencionados, una solución práctica para la geometría del tratador horizontal analizado en el ejemplo, podría ser:

$$dr = 125 \text{ pg}$$

$$l = 30 \text{ pies}$$

$$q = 2.5824 \text{ MM Btu/hora}$$

(estos valores fueron obtenidos de la tabla IV o de la Figura 22 para $T = 140^\circ\text{F}$)

TABLA III

Criterio 1: Ecuación de asentamiento
 Resultados de los cálculos con las ecuaciones de
 asentamiento y de calor

T (°F)	100	120	140	160
Δw_o	0.164	0.164	0.164	0.164
M _o (cp)	17.1	9.4	6.1	4.3
d _w (micras)	73.6	110.2	147.5	186.8
d _r l	42154	10336	3744	1646
q (MM btu/h)	0.8608	1.7216	2.5824	3.4432

TABLA IV

Criterio 1: Ecuación de asentamiento
 Combinaciones de d_r y l

T (°F)	d _r (pg)	l (pies)	q (MM Btu/h)
100	2108	20	0.8608
	1405	30	
	1054	40	
120	517	20	1.7216
	345	30	
	258	40	
140	187	20	2.5824
	125	30	
	94	40	
160	82	20	3.4432
	55	30	
	41	40	

T A B L A V

Criterio 2: Ecuación de tiempo de residencia
Combinaciones de t_r y l .

t_r (minutos)	l (pies)	d_r (pg)
20	10	98
	20	69
	30	56
	40	49
	50	44
	60	40

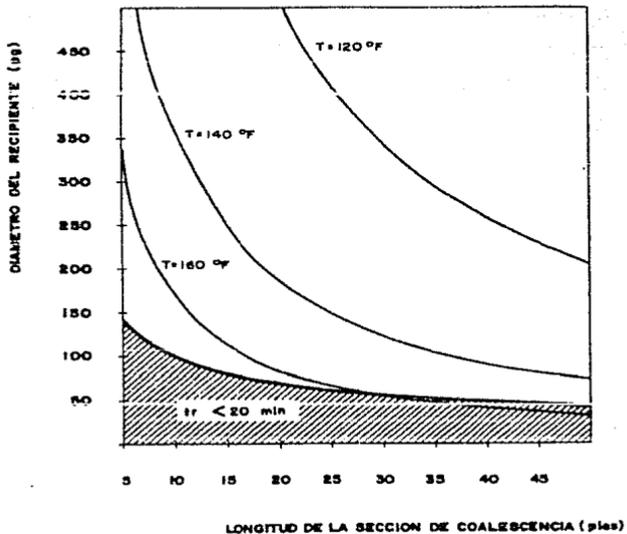


FIGURA 22

**RELACION DE DIAMETROS CONTRA LONGITUD
DE LA SECCION DE COALESCENCIA
PARA UN TRATADOR HORIZONTAL**

Ejemplo 2. Dimensionamiento de un tratador vertical.

Datos: $Q_0 = 2000$ blo/día

$API = 40^\circ$, $\gamma_o = 0.825$

$T = 90^\circ F$

$\gamma_w = 1.04$

Obtener las dimensiones del recipiente, para temperaturas de tratamiento de 100, 120, 140 y 160°F, considerando un tiempo de residencia de 20 minutos.

Solución:

Criterio 1: Ecuación de asentamiento.

a) Cálculos realizados para $T = 100^\circ F$

- Diferencia de densidades.

$$\begin{aligned}\Delta w_o &= \gamma_w - \gamma_o = 1.04 - 0.825 \\ &= 0.215\end{aligned}$$

- Viscosidad del aceite.

De las ecuaciones 6, 7 y 8:

$$\begin{aligned}y &= 10^{(3.0324 - 0.02023 API)} \\ &= 10^{(3.0324 - 0.02023 \cdot 40)} \\ &= 167.186\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x &= y T^{-1.163} \\ &= 167.186 (100)^{-1.163} \\ &= 0.789\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mo &= 10^x - 1 \\
 &= 10^{0.789} - 1 \\
 &= 5.155 \text{ cp}
 \end{aligned}$$

- Diámetro de la partícula de agua

De la ecuación 10:

$$\begin{aligned}
 d_w &= 500 Mo^{-0.675} \\
 &= 500 (5.155)^{-0.675} \\
 &= 165.28 \text{ micras}
 \end{aligned}$$

- Calor requerido para calentar la emulsión a 100°F.

De la ecuación 9:

$$\begin{aligned}
 q &= 16 Q_o \Delta T (0.5 \gamma_o + 0.1) \\
 &= 16 (2000) (100-90) (0.5 \cdot 0.825 + 0.1) \\
 &= 0.164 \text{ MM btu/h}
 \end{aligned}$$

- Determinación del diámetro del recipiente, dr.

Como se puede observar en la ecuación 3, el área de la sección transversal al flujo ascendente de aceite, sólo es función del diámetro del recipiente, por lo que únicamente se obtiene un valor de dr para cada temperatura. Así, de la ecuación 3:

$$\begin{aligned}
 dr &= 81.8 Q_o Mo / ((\gamma_w - \gamma_o) d_w^2) \\
 &= 81.8 (2000) (5.155) / (0.215 (165.28)^2) \\
 &= 143.6 \text{ pg}
 \end{aligned}$$

b) Siguiendo el mismo procedimiento, se determinan los valores de dr y q para las temperaturas de 120, 140 y 160°F. Los resultados correspondientes se presentan en la tabla VI.

- c) Los valores de dr se ilustran gráficamente en la Figura 23; como se puede observar, dichos valores son líneas rectas horizontales para cada temperatura.

Criterio 2: Ecuación de tiempo de residencia.

- a) Determinación del producto $dr^2 hc$.

De la ecuación 5 para un tiempo de residencia de 20 minutos.

$$\begin{aligned} dr^2 hc &= tr Q_0 / 0.12 \\ &= 20(2000) / 0.12 \\ &= 333333.3 \end{aligned}$$

- b) Con el valor de $dr^2 hc$, y suponiendo el valor de una de las variables, dr ó hc , se determina el de la otra; en la tabla VII, se muestran diversos valores de hc y dr , para $tr = 20$ minutos.
- c) Las combinaciones de dr y hc se muestran en forma gráfica en la Figura 23. Como se puede observar, éstas generan una curva cuya área inferior (sombreada) indica valores de dr para tiempos de residencia menores a 20 minutos.

La selección más adecuada de dr y hc , al igual que en el ejemplo 1, debe hacerse en base a un análisis económico, considerando:

- relación geométrica hc/dr adecuada.
- requerimientos de calor.
- características de la emulsión a tratar, y
- criterio y experiencia de campo del ingeniero de producción.

Como resultado del diseño de un tratador vertical, una combinación práctica podría ser:

dr = 50 pg

hc = 140 pg

Para lo cual, de la tabla VI se obtiene que la temperatura de tratamiento y el calor requerido son:

$T = 120^{\circ}\text{F}$

$q = 0.4920 \text{ MM Btu/hora}$

T A B L A VI

Criterio 1: Ecuación de asentamiento

Resultados de los cálculos con las ecuaciones de asentamiento y de calor.

Temperatura °T	100	120	140	160
$\Delta w, o$	0.215	0.215	0.215	0.215
M_o (cp)	5.2	3.3	2.4	1.8
d_w (micra)	165.3	223.3	276.9	336.2
d_r (pg)	144	50	24	12
q (MMbtu/h)	0.164	0.4920	0.8200	1.1480

T A B L A VII

Criterio 2: Ecuación de tiempo de residencia
combinación d_r y h_c .

t_r (minutos)	d_r (pg)	h_c (pg)
20	10	3333.
	20	833
	40	208
	60	93
	100	33
	150	15

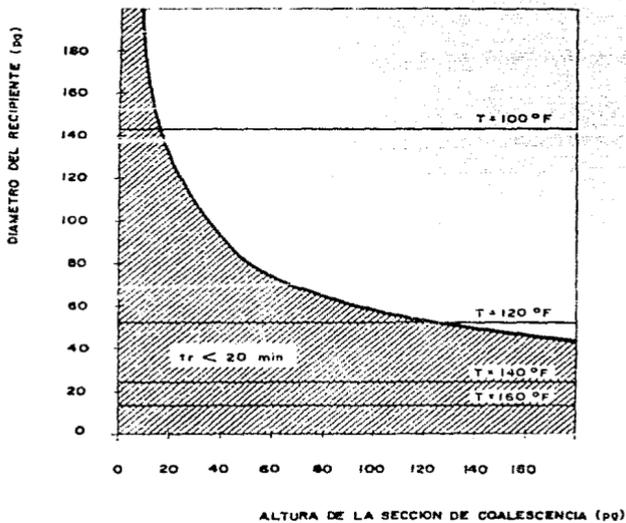


FIGURA 23

**RELACION DE DIAMETROS CONTRA ALTURA
DE LA SECCION DE COALESCENCIA
PARA UN TRATADOR VERTICAL**

IV. OPERACION DEL EQUIPO DE TRATAMIENTO.

Cuando se va a poner en operación por primera vez un equipo de tratamiento, debe hacerse con bastante cuidado para evitar posibles explosiones e incendios. Un tratador nuevo se encuentra lleno de aire; cuando los fluidos del pozo entran al interior de éste, una cierta cantidad de gas libre también está presente; si esto sucede, se forma una mezcla combustible dentro del equipo, así que -- cualquier chispa o flama cerca de la salida del tratador puede originar una explosión. Una mezcla con alto porcentaje de gas no es combustible, de tal forma que si suficiente gas está presente y -- en la mezcla aire-gas el porcentaje de éste último es mayor al 15%, la mezcla será demasiado rica para arder y no existirá peligro de alguna explosión.

Procedimiento de arranque (poner en operación):

- 1.- Bombear agua (salada, de mar o de río) al interior del tratador de tal forma que se inunde la cámara de combustión. Revisar que todas las salidas de líquidos estén cerradas, así -- como la válvula manual entre las válvulas de descarga y el -- tratador para asegurar que no saldrá líquido. Cuando se va a operar por primera vez el equipo, no es recomendable accionar el sistema automático de operación de las válvulas de descarga. Tampoco se debe poner en operación el suministro de gas al piloto.
- 2.- Después que el tratador ha sido cargado parcialmente con agua; se conduce la emulsión agua-aceite al tratador. Esto debe ha

cerse en una forma lenta y gradual, a fin de evitar que baches repentinos de líquidos y gas golpeen las paredes internas del tratador.

- 3.- Abrir la salida del gas al quemador o a venteo, hasta que el - aire se purgue del tratador.
- 4.- Después de que el tratador se llena parcialmente con los fluidos del pozo, accionar el abastecimiento de gas para los sistemas de instrumento y control.
- 5.- Una vez que el tanque está lleno de emulsión, accionar el abastecimiento de gas para el calentador y encender el piloto.
- 6.- Los controles de nivel e interfase deben ajustarse para manejar el volumen de emulsión esperado. La mayoría de los flotadores tienen un ajuste externo, el cual permite aproximar los niveles y la interfase a una altura conveniente. El tipo de control de palanca mecánica, se puede ajustar moviendo el brazo del flotador y el contrapeso para mantener los niveles en el punto deseado. Este se encuentra, aproximadamente, en la parte media del indicador de nivel de cada sección del tratador. Si el nivel no se encuentra por lo menos a una tercera parte del indicador, se puede perder de vista, lo que trae como consecuencia problemas en el funcionamiento del equipo.
- 7.- Si todo está operando normalmente, ajustar el termostato a la temperatura de operación previamente establecida. Enseguida, abrir la válvula de suministro de gas combustible al quemador y encenderlo.

Una vez que los niveles se han estabilizado, el tratador ---

funcionará sin problemas y podrá operarse en forma automática. Para esto, debe asegurarse que los niveles y la interfase son los adecuados y que la válvula manual, entre el recipiente y la descarga, ha sido abierta luego que se ha iniciado el proceso de tratamiento.

Cuando un equipo de tratamiento nuevo se pone en operación, es recomendable inspeccionar su funcionamiento durante algunas horas - con el objeto de verificar que todos los elementos que integran - el equipo están trabajando satisfactoriamente, como son: temperatura de tratamiento y niveles de la interfase (éstos pueden cambiar si en el tratador se usa agua dulce para el arranque y posteriormente se tiene el agua salada de la emulsión con diferente densidad relativa).

Una vez que el tratador se ha puesto en operación y se han estabilizado los niveles, a menudo es conveniente marcar de alguna forma los niveles de interfase en los tubos indicadores. Esto proporciona una referencia rápida de problemas en la operación del sistema de tratamiento del crudo.

Procedimiento de paro. (poner fuera de operación):

Si el tratador se debe apagar debido a que la entrada de fluido - del pozo se suspende, éste deberá estar lleno de líquido. El procedimiento de paro (apagado) es el siguiente:

- 1.- Cerrar la válvula de suministro de combustible.
- 2.- Cerrar la válvula que se encuentra a la entrada de la línea de líquido para suspender la entrada de emulsión al interior del tratador.
- 3.- Cerrar, en forma manual, las válvulas en cada línea de descarga de líquidos a fin de evitar la fuga de éstos.

Si el tratador se cierra para reparaciones internas, los hidrocarburos líquidos y vapores deberán ser removidos a fin de evitar la posibilidad de algún incendio. Para lo anterior, debe de disponerse de alguna fuente de suministro de agua (dulce o salada); esto puede llevarse a cabo con una bomba simple para hacer llegar el agua al interior del recipiente; la línea de descarga de aceite debe estar abierta, así el agua desplazará el aceite hacia afuera del recipiente para su almacenamiento. Debe tenerse en mente el riesgo que implica el soldar un recipiente que se ha descargado pero que no ha sido desgasificado ni inspeccionado; esto resulta sumamente peligroso. La razón es que cuando un recipiente está abierto contiene aire (oxígeno), el cual con un bajo porcentaje de gas puede formar una mezcla combustible.

La desgasificación de un recipiente para su reparación, puede llevarse a cabo llenándolo parcialmente con agua, y posteriormente calentando hasta que se forme vapor. Sin embargo, esto no es recomendable por razones de seguridad, puesto que el vapor a baja

presión posiblemente no remueva la totalidad de partículas de aceite adheridas a la pared del recipiente. De tal manera que al soldar dicho recipiente, se calientan las paredes de éste lo que puede producir una mezcla combustible. Este problema puede resolverse usando un generador de vapor, con el que puede emplearse vapor a presión para desprender los depósitos de aceite adheridos a las paredes del recipiente. Si no se tiene vapor disponible pueden usarse gases inertes utilizados en operaciones de producción como son: bióxido de carbono o nitrógeno.

Supervisión rutinaria de la operación.

- 1.- Verificar la posible presencia de aceite alrededor de la válvula de venteo de gas, o en las trampas que colectan el aceite que pueda salir en la descarga del gas. Cualquier evidencia de aceite aumenta la posibilidad de que la válvula de descarga de aceite esté fallando, lo cual origina que el tratador trabaje fuera de su capacidad de diseño.
- 2.- Observar los tubos indicadores de nivel, para ver que los niveles de interfase se encuentren en el rango de 2 cms de la marca de referencia. Un nivel bajo de la interfase en la sección de eliminación de agua libre, indica fallas en la inyección de reactivos desesulsificantes.

Otra indicación de mal funcionamiento la constituye el nivel de la interfase en la sección de asentamiento. Si el nivel se encuentra bajo, indica un alto porcentaje de agua y sedimentos en el aceite, esto ocasionado posiblemente por poca adición de reactivos químicos o calor a la emulsión. Cuando se tiene un controlador de nivel de tipo flotante, y las válvulas de descarga son accionadas con flotador y nivel, es conveniente ope

rarlas en forma manual periódicamente para asegurar su funcionamiento adecuado, aún cuando todos los niveles de interfase - se vean normales.

- 3.- En lo posible, las válvulas de drene instaladas en cada sección del tratador deben ser operadas manualmente para asegurar su funcionamiento adecuado; debe verificarse también que los sólidos producidos como arena, lodo de perforación y otros, sean desalojados fuera del tratador.
- 4.- Verificar el contenido de agua y sedimentos en el aceite tratado, para determinar si se encuentran dentro del límite permisible.
- 5.- Inspeccionar la temperatura en la sección de calentamiento para verificar que se mantenga en un nivel adecuado. Ajustar el termostato en caso necesario.
- 6.- Inspeccionar el quemador para verificar que la flama sea adecuada, y revisar la boquilla del quemador.
- 7.- Analizar muestras de la corriente de agua que sale del tratador para conocer su contenido de aceite.

V. PROBLEMAS EN LA OPERACION DEL EQUIPO DE TRATAMIENTO.

A menudo, la causa de un problema de operación es tan obvia que se pasa inadvertida. Los aspectos importantes que hay que recordar para evitar problemas en un equipo de tratamiento son:

- 1.- El propósito fundamental de un tratador es limpiar el aceite y el agua con la mínima cantidad de calor y agente químico, y no tanto el mantener constantes los niveles de interfase - en los tubos indicadores de nivel.
- 2.- La emulsión para su tratamiento requiere de agentes químicos, calor y tiempo de asentamiento. Una situación en la cual alguno de estos parámetros básicos se encuentre fuera de rango, puede dar lugar a un tratamiento inadecuado.
- 3.- La acción más importante, en caso de problemas de operación, consiste en encontrar la causa que los provoca y eliminarla, en lugar de tratar los síntomas, lo cual ayuda muy poco a resolver el problema.
- 4.- La detección de un problema en el equipo de operación es un - proceso iterativo, de ensaye y error, en el cual las posibles causas del problema se eliminan una a una, hasta encontrar la que lo ocasiona. Solamente se considera una acción correctiva a la vez y se determinan sus efectos, antes de probar una segunda. Cuando se consideran dos o tres alternativas de solución al mismo tiempo; los efectos favorables de unas pueden "neutralizarse" por los efectos negativos de otras; el resultado final puede generar un problema diferente al original.

- 5.- Observar los cambios de nivel o variaciones de temperatura, - así como el ritmo de producción, además de las lecturas de - los instrumentos. Un nivel o ritmo de flujo elevado no siempre es significativo a menos que se haya presentado un incremento después de la última inspección. El observar pequeños cambios en las lecturas de instrumentos, no necesariamente es un indicio de mal funcionamiento del equipo. Pueden presentarse pequeñas variaciones; la excepción es en los indicadores de nivel, los cuales deben mantenerse siempre limpios y - estables.
- 6.- El problema más obvio en un tratador, es el de un alto contenido de agua y sedimentos (BSW) en el crudo. Sin embargo, un bajo contenido de éstos también es importante, debido a que - representa un costo de operación excesivo y posiblemente una pérdida de ingresos por volumen de aceite producido.
- 7.- Aunque el calor es un elemento necesario en el tratamiento de la emulsión, también es más costoso pues, requiere de combustible que es valioso y reduce el volumen de aceite tratado. Consecuentemente, lo último que se debe hacer en un tratamiento es elevar la temperatura del proceso.

V.1 Problemas de Operación que Ocasionan Cambios de Nivel.

El controlador de nivel es un dispositivo que regula el flujo de líquidos que salen del tratador. El indicador de nivel es una referencia para que el operador conozca el funcionamiento del controlador, y es ajustado por el mismo controlador de nivel. Se pueden comparar los dos dispositivos con el acelerador y el velocímetro de un automóvil. El acelerador es el dispositivo que controla la velocidad del automóvil. El velocímetro es el indicador de la posición del acelerador, un automóvil se puede correr sin velocímetro pero no sin acelerador.

Un controlador de nivel tipo flotante trabaja en función de la diferencia de densidades relativas de los fluidos que lo rodean. Los fluidos pueden ser aceite y agua, o aceite y gas. En ambos casos, la diferencia de densidad relativa de los dos fluidos es la que hace operar al controlador de nivel. Es importante recordar la diferencia entre densidad relativa y gravedad API. La densidad relativa del agua es 1.0 y la del aceite varía de 0.8 a 0.9, aproximadamente. Esto indica que el aceite tiene un peso de 80 a 90% del correspondiente a un mismo volumen de agua.

La densidad relativa se relaciona con la gravedad API de la siguiente manera: $\gamma_r = 141.5 / (131.5 + \text{°API})$, o sea que una densidad relativa de 1.0 (valor de la densidad del agua @ $T = 4^\circ\text{C}$ y $P = 1.033 \text{ kg/cm}^2$) equivale a una gravedad de 10°API . La gravedad API del -

dad de agua en el aceite aumenta y la diferencia de densidades - disminuye, bajando así el nivel de la interfase.

Dado que los niveles en el indicador son el velocímetro en el caso del tratador, es importante conocer cuando se está acelerando o deteniendo, de tal forma que se pueda tomar la acción correctiva apropiada. En las siguientes tablas se presentan, en forma resumida, las causas de los cambios de nivel de interfase en las secciones de asentamiento agua-aceite de los equipos de tratamiento.

Problemas de operación por cambios en el nivel de interfase.

El nivel de agua en la sección de
asentamiento bajará si:

Acción correctiva:

1.- Disminuye la temperatura del calentador.

Elevar la temperatura del calentador.

2.- Disminuye la inyección de reactivo desemulsificante.

Aumentar la inyección de reactivo.

3.- La sección de filtrado no está bajando.

a) Inspeccionar si existe un nivel de agua alto en dicha sección.

b) Inspeccionar la caída de presión a través de esta sección, debido a la acumulación de sedimentos (lodo y sólidos).

c) Reemplazar el empacamiento en la sección de filtrado.

4.- El ritmo de agua separada disminuye.

Reajustar el controlador de nivel.

5.- La válvula de descarga de agua se encuentra bloqueada en posición abierta.

Accionar la válvula, hasta que ésta abra y cierre libremente.

6.- El aceite se vuelve más pesado. Generalmente esto se debe a un mayor contenido de agua en el crudo, producto de fallas según los incisos 1, 2 y 3.

Determinar el contenido de agua y sedimentos en el crudo. Ver las acciones correctivas de los incisos 1, 2 y 3.

El nivel de agua en la sección de asentamiento aumentará si:

Acción correctiva:

1.- La temperatura del calentador se incrementa.

Disminuir la temperatura del calentador.

2.- El ritmo de flujo de agua se incrementa.

Reajustar el controlador de nivel.

3.- La válvula de descarga de agua se encuentra bloqueada en su posición cerrada.

Accionar la válvula hasta que se abra libremente.

4.- El aceite se vuelve más ligero, esto generalmente se debe al efecto del inciso 1.

Disminuir la temperatura del calentador.

Problemas que ocasionan un alto contenido de agua y sedimentos en el aceite crudo tratado.

Causas de incremento en el contenido de agua y sedimentos.

Acción correctiva:

1.- Disminución en la inyección de reactivos químicos desmenuficantes.

Verificar la inyección de reactivo, e incrementar el ritmo de inyección.

2.- Reducción de la temperatura en la sección de calentamiento.

Inspeccionar la temperatura en la sección de calentamiento y ajustar el termostato.

- | | |
|--|--|
| 3.- No hay flama en el calentador. | Inspeccionar el fuego en el calentador y en caso necesario volver a encender. |
| 4.- El empacamiento en la sección de filtrado no está funcionando. | a) Inspeccionar la altura del nivel de agua en la sección de filtrado, y disminuirla si es necesario.
b) Verificar si existe taponamiento del filtro, esto lo indica un valor alto de lectura de presión diferencial.
c) Reemplazar el empacamiento en la sección de filtrado. |
| 5.- Hay un alto nivel de agua en la sección de asentamiento. | Revisar el nivel. Reajustar el controlador de nivel. |
| 6.- Hay un incremento de flujo del tratador. | Revisar el flujo de aceite que sale del tratador. Determinar la causa de este incremento, si se desconoce. |

Problemas que ocasionan un bajo contenido de agua y sedimentos en el aceite crudo tratado.

Cuando el contenido de agua y sedimentos en el aceite tratado disminuye, significa que existe un exceso de agente químico desemulsificante, o de calor. Esto indica un incremento en los costos de operación, el procedimiento para solucionar este problema es el siguiente:

Causas de la reducción en el contenido de agua y sedimentos.

Acción correctiva:

- | | |
|---|---|
| 1.- Alta temperatura en el calentador | Verificar la temperatura en la sección de calentamiento, ajustar el termostato a un nivel más bajo. |
| 2.- Alto ritmo de inyección de reactivos químicos desmulsificantes. | Inspeccionar la bomba de inyección de reactivos, disminuir el ritmo de inyección. |

3.- El nivel de agua en la sección de -
asentamiento no está funcionando en
forma adecuada.

Inspeccionar el nivel de la inter-
fase agua-aceite. Ajustar el con-
trolador de nivel.

Como se ha visto, los niveles de interfase, los flujos y la tempe
ratura en el tratador, son "la guía del operador" para determinar
las causas de problemas en el equipo y efectuar así las acciones
adecuadas para restablecer el sistema de tratamiento a sus condi-
ciones normales de operación. En la tabla VIII se presentan, en
forma resumida, las causas más comunes que originan problemas de
operación en el tratador, y las acciones correctivas que éstos re
quieren para su solución.

T A B L A

CAUSAS, EFECTOS Y ACCION CORRECTIVA PARA

PROBLEMA		NIVELES DE INTERFASE EN EL TRATADOR						TEMPERATURA EN LA SECCION DE CALENTAMIENTO	AGUA LIBRE
		SECCION DE ELIMINACION DE AGUA LIBRE		SECCION DE CALENTAMIENTO		SECCION DE ASENTAMIENTO			
AGUA Y SEDIMENTOS EN EL ACEITE TRATADO	ACEITE EN LA SALMUERA SEPARADA	INTERFASE GAS-ACEITE	INTERFASE AGUA-ACEITE	INTERFASE GAS-ACEITE	INTERFASE AGUA-ACEITE	INTERFASE GAS-ACEITE	INTERFASE AGUA-ACEITE		
ALTO	ADECUADO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	BAJO	ALTO	NORMAL	NORMA
ALTO	ADECUADO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	BAJO	BAJA	NORMA
ALTO	ADECUADO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	BAJO	NORMAL	NORMA
ALTO	ADECUADO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	BAJO	NORMAL	NORMA
ADECUADO	ALTO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	BAJO	NORMAL	NORMA
BAJO	ADECUADO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ALTO	ALTA	NORMA
					ABAJO DE LOS TUBOS DE CALENTAMIENTO.				
BAJO	ALTO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	BAJO	NORMAL	NORMA

A B L A VIII

CTIVA PARA DIVERSOS PROBLEMAS EN UN TRATADOR

TEMPERATURA EN LA SECCION DE CALENTAMIENTO	RITMOS DE FLUJO				RITMO DE INYECCION DE REACTIVO	CAUSA APARENTE DEL PROBLEMA	ACCION
	AGUA LIBRE	AGUA TRATADA	ACEITE	GAS			
NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ADECUADO	NO SE DIO UN TIEMPO DE ASENTAMIENTO SUFICIENTE .	a) INCREMENTAR INTERFAS b) DISMINUIR INTERFAS
BAJA	NORMAL	NORMAL	NORMAL	BAJO	ADECUADO	1. EL QUEMADOR NO OPERA CORRECTAMENTE . 2. EL TUBO DEL QUEMADOR PRESENTA INCrustACIONES .	a) INSPECCIONAR QUEMADOR b) REEMPLAZAR QUEMADOR
NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	BAJO	LA BOMBA DE INYECCION DE REACTIVOS NO OPERA CORRECTAMENTE .	REPARAR INYECCION
NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ALTO	EXCESO EN LA INYECCION DE REACTIVO .	REESTABLIR DE REACTIVO
NORMAL	NORMAL	ALTA	NORMAL	NORMAL	ADECUADO	EL AGUA NO TIENE SUFICIENTE TIEMPO DE ASENTAMIENTO .	INCREMENTAR INTERFAS
ALTA	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ADECUADO	EXCESO DE CALOR AL TRATAMIENTO .	DISMINUIR EN LA SECCION
						1. LA VALVULA DE DRENE SE ENCUENTRA ABIERTA .	CERRAR LA VALVULA DE DRENE PERMITIR QUE EL AGUA CORRIER DENTRO DE UN TIEMPO DE 15 MINUTOS
NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ALTO	ADECUADO	EL TIEMPO DE ASENTAMIENTO DEL ACEITE ES EXCESIVO, E INSUFICIENTE PARA EL AGUA .	INCREMENTAR LA INTERFAS

RSOS PROBLEMAS EN UN TRATADOR

S DE FLUJO			RITMO DE INYECCION DE REACTIVO	CAUSA APARENTE DEL PROBLEMA	ACCION CORRECTIVA
A DA	ACEITE	GAS			
AL	NORMAL	NORMAL	ADECUADO	NO SE DIO UN TIEMPO DE ASENTAMIENTO SUFICIENTE .	a) INCREMENTAR EL NIVEL DE LA INTERFASE GAS - ACEITE . b) DISMINUIR EL NIVEL DE LA INTERFASE AGUA - ACEITE .
AL	NORMAL	BAJO	ADECUADO	1. EL QUEMADOR NO OPERA CORRECTAMENTE . 2. EL TUBO DEL QUEMADOR PRESENTA INCRUSTACIONES .	a) INSPECCIONAR LA FLAMA DEL QUEMADOR b) REEMPLAZAR EL TUBO DEL QUEMADOR .
AL	NORMAL	NORMAL	BAJO	LA BOMBA DE INYECCION DE REACTIVOS NO OPERA CORRECTAMENTE .	REPARAR LA BOMBA DE INYECCION DE REACTIVO .
AL	NORMAL	NORMAL	ALTO	EXCESO EN LA INYECCION DE REACTIVO .	RESTABLECER LA INYECCION DE REACTIVOS A NIVEL NORMAL .
A	NORMAL	NORMAL	ADECUADO	EL AGUA NO TIENE SUFICIENTE TIEMPO DE ASENTAMIENTO .	INCREMENTAR EL NIVEL DE LA INTERFASE AGUA - ACEITE .
AL	NORMAL	NORMAL	ADECUADO	EXCESO DE CALOR AL TRATAMIENTO .	DISMINUIR LA TEMPERATURA EN LA SECCION DE CALENTAMIENTO .
				1. LA VALVULA DE DRENE SE ENCUENTRA ABIERTA .	CERRAR LA VALVULA DE DESCARGA DEL ELIMINADOR DE AGUA LIBRE . PERMITIR QUE EL AGUA FLUYA DENTRO DEL TRATADOR HASTA CUBRIR LOS TUBOS DE CALENTAMIENTO .
AL	NORMAL	ALTO	ADECUADO	EL TIEMPO DE ASENTAMIENTO DEL ACEITE ES EXCESIVO, E INSUFICIENTE PARA EL AGUA .	INCREMENTAR EL NIVEL DE LA INTERFASE AGUA - ACEITE .

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- La deshidratación del aceite crudo es un proceso de tratamiento encaminado a eliminar el agua y los sedimentos del aceite. Esto es importante por varias razones: el agua contenida en el aceite es una sobrecarga para el equipo y tuberías conductoras, además existen especificaciones para la entrega del aceite ya sea a refinerías o para exportación. En las refinerías, el agua afecta negativamente algunos procesos (destilación): - por otra parte, el grado de limpieza del aceite limita su precio en el mercado. De aquí la importancia de eliminar al máximo el contenido de agua y sólidos del aceite crudo.
- 2.- Cuando se envía una corriente de aceite crudo a tratamiento, es recomendable eliminar previamente el agua libre de la emulsionada en el aceite, ya que constituye una sobrecarga adicional para las tuberías y equipo de transporte, además de sus efectos corrosivos. Por otra parte, cuando se aplica calor al tratamiento, el agua absorbe hasta dos veces más calor que el aceite.
- 3.- Es importante tener conocimiento preciso de los parámetros que intervienen en la formación de las emulsiones agua-aceite, a fin de diseñar el proceso de tratamiento y seleccionar el equipo adecuado al tipo de emulsión a tratar. El grado de estabilidad de una emulsión y sus características, determina el tipo y dosificación de agente químico a utilizar, así como la cantidad de calor y tiempo de asentamiento necesarios, para que el agua separada se deposite en el fondo del recipiente. Estos parámetros se determinan mediante pruebas de botella en el laboratorio.

- 4.- La adición de reactivos químicos desemulsificantes debe hacerse en un punto que garantice una distribución homogénea de éstos en la emulsión. Este puede ser el múltiple de recolección a donde confluye la producción total del campo, o bien en algún punto de la línea que conduce la emulsión a la central de deshidratación.
- 5.- En el caso de que se requiera calor para destruir la emulsión, éste debe aplicarse en forma moderada. Una temperatura de tratamiento elevada tiene varios efectos negativos: reduce el volumen de aceite tratado al evaporarse algunos componentes ligeros, así como su gravedad API, disminuyendo en consecuencia el precio del aceite. Además, a mayores temperaturas de tratamiento, la velocidad de corrosión del equipo se incrementa.
- 6.- En un principio, la separación del agua emulsionada en el aceite, se efectuaba a condiciones ambiente, únicamente permitiendo un tiempo de residencia a la corriente de líquido en el interior del equipo. En la actualidad, las especificaciones establecidas para el aceite tratado han dado lugar al uso de equipos de tratamiento especiales, con el propósito de acelerar el proceso y limpiar eficientemente el aceite; entre éstos se tienen: deshidratadores convencionales, electrostáticos y atmosféricos, los cuales pueden incluir dispositivos auxiliares como son las placas coalescedores, distribuidores de emulsión y dispositivos de lavado, entre otros.

- 7.- El diseño de equipos de tratamiento térmicos es un problema relativamente complejo debido a la cantidad de parámetros involucrados. Este se basa en los análisis de laboratorio de los aceites producidos y en la experiencia de campo; desafortunadamente, las condiciones prevaletientes en el campo, no siempre pueden ser evaluadas en forma confiable. Por esta razón, el procedimiento descrito en este trabajo es una aproximación a la solución exacta, que sin embargo es funcional para resolver problemas sobre dimensionamiento de equipos de tratamiento de aceite crudo, con la ventaja de que se requiere de muy poca información y su aplicación es muy simple.
- 8.- Los equipos de tratamiento horizontales, tienen mayor capacidad que los verticales, son más económicos y pueden instalarse más fácilmente, con la desventaja que ocupan más espacio. La decisión de utilizar uno horizontal o vertical depende de la disponibilidad de espacio, del costo y de las características de la emulsión a tratar.
- 9.- A fin de evitar problemas en la operación de los equipos de tratamiento, se recomienda seguir las indicaciones descritas en el procedimiento para el arranque y paro de los equipos. Además, se deben efectuar labores de supervisión para observar su funcionamiento, verificando los aspectos señalados en la rutina de operación presentada en este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- TREATING OIL FIELD EMULSIONS.
PETROLEUM EXTENSION SERVICE, UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN
AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE - DIVISION OF PRODUCTION
THIRD EDITION, DALLAS, TEXAS, 1974.
- 2.- KEN ARNOLD AND MAURICE STEWART, JR.
DESIGNING OIL AND GAS PRODUCTION SYSTEMS, DETERMINING HEATER-TREATER SIZES AND HEAT REQUIREMENTS.
WORLD OIL, FEBRUARY 1, 1985
- 3.- TELLEZ, JOSE I.
SELECCION DEL PROCESO Y EQUIPO PARA DESHIDRATAR Y DESALAR CRUDOS.
INGENIERIA PETROLERA, OCTUBRE DE 1978
- 4.- BEGGS, H.D. AND ROBINSON, J.R.
ESTIMATING THE VISCOSITY OF CRUDE OIL SYSTEMS.
JOURNAL OF PETROLEUM TECHNOLOGY, SEPTEMBER, 1975.
- 5.- MANUAL
ELECTRICAL DEHYDRATION/DESALTING OF CRUDE OILS IN OIL FIELD PRODUCTIONS
PETROLITE CORPORATION PETRECO DIVISION
HOUSTON, TEXAS
- 6.- PHM 12-74 VISCO SERVICE MANUAL
EMULSION BREAKER CHEMICALS
NALCO CHEMICAL, CO., CHICAGO, ILLINOIS.
- 7.- GONZALEZ, CARLOS
SINTESIS DE RESINAS FENOLICAS EMPLEADAS PARA LA DESHIDRATACION Y DESALADO DE ACEITES CRUDOS DEL PAIS.
TESIS PROFESIONAL, IPN, JULIO 1981.
- 8.- CATALOG
MILDROYALD CONTROLLED VOLUME PUMP
MILTON ROY COMPANY, ST PETERSBURG, FLORIDA.

- 9.- ORTEGA, L.R.
TECNICA DE SEPARACION, MEDICION, DESHIDRATAACION Y BOMBEO
DE CRUDOS
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO, SUBDIRECCION DE CAPACI-
TACION, 1973.
- 10.- STEVE BROWN AND WARD ROSEN
MANUAL P-3, OIL TREATING
PETROLEUM LEARNING PROGRAMS, LTD, HOUSTON, TEXAS, 1982.

APENDICE A

METODO DE LABORATORIO PARA EVALUAR AGENTES
QUIMICOS DESEMSULSIFICANTES

METODO DE LABORATORIO PARA EVALUAR AGENTES
QUIMICOS DESEMULSIFICANTES

A.1 Objetivos e Importancia de las Pruebas de Botella.

Las pruebas de botella se emplean para evaluar y seleccionar agentes químicos desemulsificantes, permitiendo definir cualitativamente su eficiencia en lo que respecta a: velocidad de rompimiento de la emulsión, cantidad y grado de limpieza del agua separada, definición de la interfase agua-aceite y calidad del aceite deshidratado.

Con este método se trata de reproducir, a escala laboratorio, las condiciones para el tratamiento de las emulsiones en el campo tales como: temperatura de operación, tiempo de asentamiento, tiempo de contacto y grado de dispersión de la emulsión (estabilidad).

El desarrollo de estas pruebas es empírico, y son por ensaye y -- error; por lo que para seleccionar el tipo de agente químico adecuado y su dosificación para el empleo en la deshidratación de -- crudo, requiere de experiencia y destreza.

Existen tres reglas básicas que deben considerarse en el proceso de la realización de pruebas de botella:

- 1.- La muestra para realizar las pruebas de botella debe ser representativa de la emulsión a tratar.
- 2.- La muestra debe ser lo más "fresca" posible, esto debido a los parámetros susceptibles de cambio mientras se llevan a cabo -- las pruebas.

3.- Las mismas condiciones de agitación y temperatura que se tienen en el campo, deben simularse con la mayor aproximación en el laboratorio.

Las muestras de emulsión para efectuar las pruebas de botella, pueden recolectarse en la línea de descarga entre el pozo y el separador; o en cualquier lugar, corriente arriba del punto de inyección de reactivo. Estas deben recuperarse en un recipiente tratando de mantener las condiciones que prevalecen en la línea de flujo. En lo posible, es bueno tomar muestras de varios pozos para obtener mejores resultados; esto se hace por el hecho de que, en ocasiones, las características de la emulsión producida por diferentes pozos de un mismo yacimiento, varían considerablemente; por lo que la toma de muestras de un solo pozo puede originar resultados erróneos.

Una muestra de 200 ml de aceite emulsionado de cada pozo es suficiente para realizar la prueba de un reactivo. Para asegurar que todas las muestras obtenidas en las botellas muestreadoras son representativas de los fluidos de los pozos, es recomendable aplicarles agitación continua, antes de llenar cada una de las botellas en donde se realizará la prueba.

Es importante tomar en cuenta que la mayoría de las emulsiones se vuelven más estables con el tiempo; en consecuencia, la realización de las pruebas inmediatamente después de que se han tomado -

las muestras, proporciona resultados más confiables.

Para realizar una prueba de botella, el reactivo químico desemulsificante generalmente se dosifica diluido, y su porcentaje en volumen de reactivo varía dependiendo del tipo de tratamiento a -- realizar, así como del grado de estabilidad y características de la emulsión.

Normalmente en México, la adición de reactivos desemulsificantes para su evaluación, a escala de laboratorio, se lleva a cabo con soluciones del reactivo al 2%. Sin embargo, este valor se puede aumentar si se conoce que las emulsiones por tratar son demasiado duras. Las características de la emulsión, así como su grado de - estabilidad, son los factores que determinan el tipo de reactivos químicos, y su concentración en la solución a probar. En este trabajo, se describe la forma de preparar una solución al 10% en volumen de un desemulsificante, así como el procedimiento de la prueba de botella usando dicha solución.

Los solventes ampliamente recomendados para preparar las soluciones de desemulsificantes son: xileno, benceno, tolueno y alcohol isopropílico.

A.2 Prueba de Botella.

Preparación de una solución del desemulsificante al 10%.

- 1.- Medir 45 ml de solvente (75% de xileno y 25% de alcohol isopropílico u otro adecuado) en una probeta graduada de 50 ml, y colocarlo en una botella de 120 ml.
- 2.- Llenar una jeringa graduada de 10 ml con agente químico, hasta que pase de la marca de 5 ml; enseguida, expulsar las burbujas de aire que se encuentran en el interior de la jeringa empujan do el émbolo hasta que éste alcance la marca de 5 ml.
- 3.- Colocar los 5 ml del aditivo químico contenidos en la jeringa dentro de la botella que contiene los 45 ml de solvente.
- 4.- Marcar la botella de solución con el número o símbolo de identificación del aditivo químico usado.

En forma similar, para preparar una solución al 2%, o cualquier relación volumétrica de reactivo deseada, repetir los pasos 1 a 4.

Procedimiento de la prueba de botella con una solución de agente químico desemulsificante al 10%.

Una vez que se ha preparado la solución del agente químico al porcentaje deseado (10% en este caso); la prueba de botella para seleccionar la dosificación de reactivo desemulsificante adecuada, con la que se realizaría el tratamiento en campo, puede efectuarse

se de la siguiente manera;

- 1.- Llenar las botellas graduadas que se usan comúnmente en estas pruebas con emulsión fresca hasta la marca de 100 ml. Enseguida con una pipeta, agregar la solución del reactivo al 10% a las botellas en diferentes cantidades, por ejemplo: 0.02 a la primer botella, 0.04 ml a la segunda y así sucesivamente.
- 2.- Colocar las botellas de tal forma que la que contiene 0.02 ml de solución esté a la izquierda, y ordenarlas según vaya aumentando la cantidad de reactivo dosificado. Marcar las botellas de acuerdo a la cantidad de solución de reactivo que contienen, Figura A.1.
- 3.- Tomar las botellas y agitarlas aproximadamente 200 veces. En seguida colocarlas en la posición original para permitir que se asiente la emulsión.
- 4.- En caso de que se requiera calor para tratar la emulsión, se deben aflojar ligeramente las tapas de las botellas para prevenir la acumulación de presión en su interior. Posteriormente se colocan en baño maría, Figura A.2, y se calienta la emulsión hasta alcanzar las condiciones de temperatura prevalecientes en el campo; para esto, puede usarse un termómetro colocado dentro de las botellas.
- 5.- Retirar las botellas del baño maría y permitir un tiempo de asentamiento. Si la separación de aceite limpio y agua aparece más definida en una de las botellas que en el resto, ver cuál es la cantidad de reactivo que contiene dicha botella, - Figura A.3.

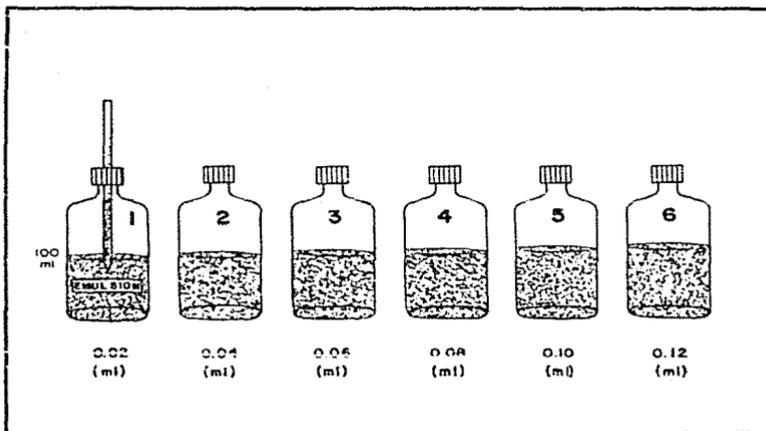


FIGURA A.1

**ADICION DE AGENTE DESEMULSIFICANTE
A LAS MUESTRAS CON ACEITE EMULSIONADO**

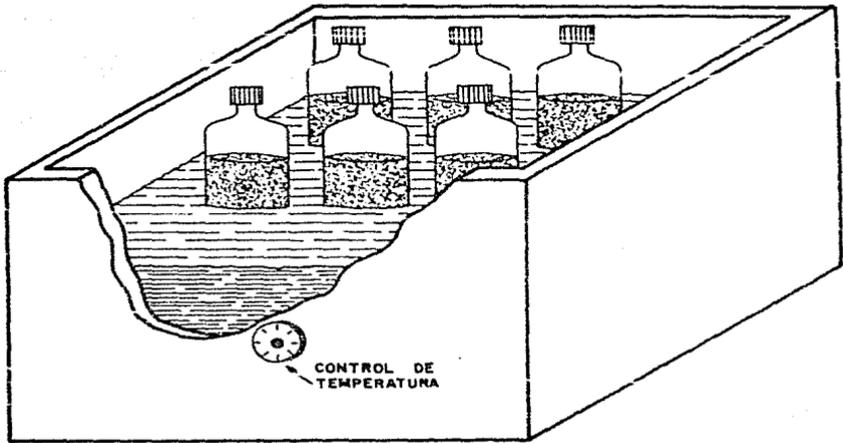


FIGURA A.2

**CALENTAMIENTO DE
LAS MUESTRAS DE EMULSION**

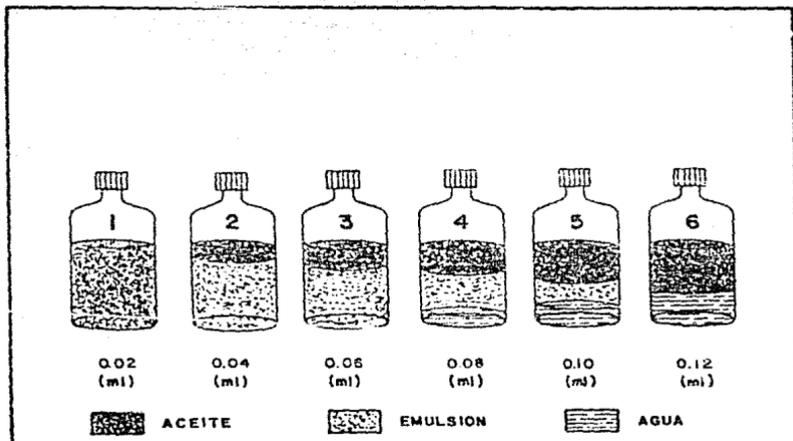


FIGURA A.3

**ACCION DE AGENTE DESEMULSIFICANTE
EN LA SEPARACION DEL AGUA Y EL ACEITE**

6.- Si la separación del agua y del aceite no resulta satisfactoria, deben probarse otras relaciones de tratamiento (en otras palabras, aumentar la cantidad de reactivo), o bien evaluar otro reactivo.

7.- Luego de seleccionar la botella en la cual ocurrió la mejor separación del agua y el aceite, se hace uso de una pipeta, la cual se inserta dentro de la botella en la parte donde se tiene aceite limpio, a una profundidad aproximada de 15 mm - arriba de la interfase agua- aceite, el muestreo de aceite de la botella en este punto, indica un valor representativo del contenido de agua en el aceite crudo.

8.- Enseguida, haciendo uso de una "centrífuga", se determina el contenido de agua en el aceite. Para esto, se toman varias muestras de aceite de las botellas que presentan mejor separación, mezclando 50% del aceite limpio con otro porcentaje - igual de solvente y colocando estas muestras en los tubos centrifugos. Al poner a operar la centrifuga a una velocidad aproximada de 3600 rpm durante 2 ó 4 minutos, se presentará una separación de fases pudiendo establecer el contenido de agua en el aceite tratado y, consecuentemente, su grado de limpieza.

Estos ocho pasos se deberán realizar para cada uno de los reactivos desemulsificantes a probar.

Las características a observar para la selección del mejor reactivo desemulsificante, se pueden resumir en las siguientes:

- Mínima relación de tratamiento, lo que reduce los costos por consumo de reactivo desemulsificante.

- Velocidad relativa de rompimiento óptima (generalmente es determinada por la velocidad de separación del agua).
- Obtención del mayor grado de limpieza del aceite, dado por el porcentaje de agua separada y la salinidad residual.
- Definición del color y brillantez de la capa de aceite.
- Mínima cantidad de aceite en el agua separada.
- Definición de interfase agua-aceite, siendo ésta elástica y limpia.

Formulación de reactivos.

Comúnmente un solo reactivo desemulsificante no satisface de manera óptima el total de las características mencionadas; por ejemplo, un producto puede ser muy buen rompedor de la emulsión pero ineficiente para limpiar el aceite; o bien, puede ser efectivo para definir la interfase y romper la emulsión, pero no para limpiar el agua, etc. Debido a esto, se ve la necesidad de combinar varios reactivos básicos para obtener un producto que satisfaga todas las características para la separación del agua y el aceite.

A la mezcla de dos o más reactivos desemulsificantes básicos se le conoce como "formulación de productos". Para establecer la formulación se parte con las dosificaciones previamente determinadas mediante las pruebas de botella, con las cuales se obtuvieron los mejores resultados para cada producto específico; posteriormente, se van variando las proporciones de los reactivos en la mezcla; -

esto depende desde luego de los resultados obtenidos.

Es en esta parte del proceso, donde se pone de manifiesto la experiencia del personal especializado en esta área de la producción - para interpretar en forma adecuada los resultados de las pruebas y así tomar las medidas de solución adecuadas.

En esta forma, es como se obtiene una formulación de desemulsificantes básicos para tratar el aceite crudo emulsionado y obtener mediante su uso, por una parte, aceite limpio dentro de especificaciones; y por la otra, agua de desecho con la mínima cantidad de aceite, esto último para evitar en lo posible los problemas de contaminación.

Relación agente químico - temperatura

Los cambios en la temperatura, afectan a algunas emulsiones más - quica otras aunque, prácticamente, en todos los casos se requiere menos agente químico para tratar una emulsión caliente que cuando - ésta se encuentra a baja temperatura. Sin embargo, el ahorro de - agentes químicos puede ser poco representativo si se consideran las pérdidas reales del volumen de aceite y la disminución de la gravedad API conforme se incrementa la temperatura de tratamiento; además, el consumo de combustible es mayor para sistemas de tratamien- to a altas temperaturas.

Relación agente químico - tiempo de asentamiento.

La relación entre la cantidad de reactivo y el tiempo de asentamiento, requeridos para que el aceite y agua se separen, es probablemente la relación más difícil de encontrar en un tratamiento.

La cantidad y tipo de agente químico tienen un efecto definido en la forma de destruir una emulsión, pero no en lo que concierne a la rapidez de rompimiento o tiempo de asentamiento, necesarios para la separación del agua y aceite luego que la emulsión ha sido destruida. De tal forma que si aparece agua en el tanque de almacenamiento luego que se ha llevado a cabo el tratamiento, esto a menudo es indicativo de que el proceso de rompimiento de la emulsión continuó: No hubo tiempo de asentamiento suficiente, o las dimensiones del equipo para manejar el volumen de emulsión resultaron insuficientes. En esta situación, la adición de grandes cantidades de agente químico casi nunca soluciona el problema. En -- ocasiones, es mejor buscar otro reactivo de acción rápida en vez de aumentar las dimensiones del equipo de tratamiento. Si la temperatura se puede elevar, sin tener pérdidas de volumen y de gravedad API del aceite la emulsión puede romperse rápidamente, acelerándose además el efecto de asentamiento al disminuir la viscosidad de la emulsión.