

**PARÁMETROS DE COMPARACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE  
TRATADORES TÉRMICOS Y ELECTROSTÁTICOS**

**YURY MARGERY PERALTA CRIOLLO  
ERIKA JULIETH COLLAZOS TRUJILLO**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
NEIVA  
2015**

**PARÁMETROS DE COMPARACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE  
TRATADORES TÉRMICOS Y ELECTROSTÁTICOS**

**YURY MARGERY PERALTA CRIOLLO  
ERIKA JULIETH COLLAZOS TRUJILLO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero de Petróleos**

**DIRECTOR  
LUZ MARINA BOTERO ROJAS  
*Ingeniera Química***

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
NEIVA  
2015**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

## DEDICATORIA

*Dedico este logro a Dios por ser mi guía, mi camino, mi fuerza, mi fortaleza; por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo. A todos ellos dedico el presente trabajo, porque han fomentado en mí el deseo de superación y triunfo en la vida, Lo que ha contribuido a la consecución de este logro. Espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.*

*A mis padres, Dilia Trujillo Criollo y Edilberto Collazos Rojas, por su apoyo, consejos, comprensión, confianza, amor y ayuda en los momentos difíciles. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, y sobre todo el coraje que me caracteriza para lograr mis sueños. A ustedes siempre mi corazón y agradecimiento.*

*A mis hermanos Mónica Andrea Collazos y Cesar Andrés Collazos por siempre estar presentes, acompañándome para poder seguir adelante.*

*A mi novio Wilson Benavides por su paciencia, comprensión, amistad incondicional; me inspiras a ser mejor cada día, gracias por estar siempre a mi lado.*

*A cada uno de mis amig@s, mi segunda familia, por haber compartido conmigo momentos inolvidables, tristezas, alegrías, sacrificios que tras el pasar de los días se convirtieron en resultados exitosos.*

*A mis maestros que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas de mi tesis.*

*Y por último: deseo dedicar este logro a mí misma, por no dejarme vencer, por luchar por mis sueños y confiar en lo que dicta mi corazón.*

*“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”. **Thomas Chalmers**”*

***Erika Julieth Collazos Trujillo***

*Dedico esta tesis a Dios por ser mi guía, compañía y fortaleza en cada instante de mi vida, gracias por estar siempre a mi lado iluminando mi camino y regalándome experiencias que me permiten crecer como persona y profesional.*

*A mi amado Beymar Gonzalez Saza porque este logro es de los dos y para nuestro futuro; gracias por tu comprensión, amor y compromiso en todos estos maravillosos años junto a ti.*

*De igual forma dedico esta tesis a mi madre Eraidiz Criollo de Peralta que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado en cada etapa de mi vida a actuar de la mejor forma.*

*Al hombre que me dio la vida Andrés Peralta Lozada y que ahora está junto a Dios, guiándome desde el cielo, gracias por ser mi inspiración y mi ejemplo a seguir.*

*A mis hermanos Ana Lid y Gerleyn porque siempre han estado junto a mí brindándome su apoyo, gracias por todos los momentos compartidos.*

*A todos mis sobrinos porque son mi fuente de motivación, para superarme cada día mas y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mucho mejor.*

*A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos alegrías y tristezas, y a todos mis profesores que durante todos estos años contribuyeron a mi formación.*

*A todos gracias porque lograron que este sueño se haga realidad.*

***Yury Margery Peralta Criollo.***

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a:

A la ingeniera **Luz Marina Botero Rojas**, docente de la Universidad Surcolombiana y directora de tesis, por habernos permitido hacer parte de este gran proyecto.

Al ingeniero **Ervin Aranda Aranda** e ingeniera **Haydee Morales**, docentes de la Universidad Surcolombiana y evaluadores de este proyecto, por brindarnos su apoyo y orientación para alcanzar este logro.

Al ingeniero **Milton Combariza**, ingeniero de facilidades de producción, Petrominerales, por la valiosa información brindada y por su total disposición.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	14
CAPITULO I .....	15
GENERALIDADES DE TRATADORES TÉRMICOS Y ELECTROSTÁTICOS.....	15
1 TRATADORES .....	15
1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL <sup>2</sup> .....	15
1.1.1 Sistema de Combustión.....	15
1.1.2 Caja de Fuego .....	15
1.1.3 Sección de Coalescencia .....	15
1.1.4 Tuberías Colectoras .....	16
1.1.5 Quemadores.....	16
1.1.6 Grid o enmallado .....	16
1.1.7 Intercambiador de Calor .....	16
1.1.8 Cubierta o capillas del calentamiento .....	16
1.1.9 Filtros para detención de llama.....	16
1.1.10 Interfase de drenaje.....	16
1.1.11 Baffle medio.....	16
1.1.12 Sistema para Eliminación de Sedimentos .....	17
1.1.13 Rociadores (propagador).....	17
1.1.14 Filtro de Chispa.....	17
1.1.15 Protector de Lluvia de la Chimenea.....	17
1.1.16 Turbuladores.....	17
1.1.17 Rompedor de Vórtices .....	17
1.1.18 Sifón del Agua .....	17
1.2 TRATADOR TÉRMICO <sup>3</sup> .....	17
1.2.1 Secciones de un tratador térmico .....	18
1.2.2 Tratadores térmicos verticales.....	18
1.2.3 Tratadores térmicos horizontales.....	20
1.2.4 Principios de la deshidratación térmica .....	21
1.3 TRATADOR ELECTROSTÁTICO <sup>4</sup> .....	21
1.3.1 Secciones del tratador electrostático .....	24

1.3.2	Principios de la deshidratación electrostática .....	24
1.3.3	Sistema de potencia de la sección de coalescencia.....	27
CAPITULO II .....		30
2	DIMENSIONAMIENTO DE LOS TRATADORES.....	30
2.1	DIMENSIONAMIENTO DE LOS TRATADORES TÉRMICOS <sup>5</sup> .....	30
2.1.1	Viscosidad del crudo.....	30
2.1.2	Tamaño de las gotitas de agua .....	32
2.1.3	Sección de asentamiento .....	34
2.1.4	Tiempo de retención .....	34
2.1.5	Calor requerido .....	35
2.2	DIMENSIONAMIENTO DE TRATADORES ELECTROSTATICOS <sup>6</sup> .....	36
2.2.1	Viscosidad del crudo.....	37
2.2.2	Tamaño de las gotitas de agua .....	37
2.2.3	Sección de asentamiento .....	37
2.2.4	Tiempo de retención .....	38
2.2.5	Velocidad de flujo en las parrillas para cada tipo de corriente.....	39
2.2.6	Área optima de las parrillas .....	40
CAPITULO III .....		41
3	PARÁMETROS DE COMPARACIÓN ENTRE TRATADORES TÉRMICOS Y ELECTROSTÁTICOS <sup>8</sup> .....	41
3.1	Ventajas y desventajas de los tratadores térmicos .....	42
3.2	Ventajas y desventajas de los tratadores electrostáticos .....	42
CAPITULO IV .....		45
4	DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE.....	45
4.1	ALCANCE DE LA HERRAMIENTA.....	45
4.2	Acceso a la herramienta .....	45
4.2.1	Definición del problema .....	46
4.2.2	Parámetros y restricciones del problema.....	46
4.2.3	Herramientas físicas – matemáticas.....	46
4.2.4	Lenguaje de programación .....	46
4.2.4.1	Microsoft Visual Studio Express.....	47



4.2.4.2	sistema operativo compatible.....	48
4.2.5	REQUERIMIENTOS DE HARDWARE .....	48
4.3	DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE.....	48
4.4	Dimensionamiento de tratadores térmicos.....	49
4.5	Dimensionamiento de tratadores electrostáticos .....	55
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	60
	Bibliografía .....	62

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tratador térmico vertical .....	19
Figura 2. Tratador térmico horizontal.....	21
Figura 3. Tratador electrostático.....	23
Figura 4. Modelo triangular de una molécula de agua .....	24
Figura 5. Desplazamiento de las cargas al ser sometidas a un campo eléctrico ....	25
Figura 6. Esquema de aplicación del campo electrostático.....	25
Figura 7. Representación de comportamiento de las gotas de agua en comparación con la onda sinusoidal AC.....	26
Figura 8. Circuito unifilar del transformador de tensión de doble polaridad del tratador electrostático.....	28
Figura 9. Diagrama unifilar del sistema de control de la sección electrostática .....	28
Figura 10. Viscosidad del aceite.....	31
Figura 11. Tamaño de gotitas de agua .....	33
Figura 12. Tiempo de Retención .....	39
Figura 13. Acceso al software .....	45
Figura 14. Página Principal software .....	49
Figura 15. Elección del Tratador a dimensionar .....	49
Figura 16. Elección de orientación del tratador .....	50
Figura 17. Elección del método de solución.....	50
Figura 18. Ingreso manual de temperatura .....	51
Figura 19. Elección de temperatura.....	51
Figura 20. Selección de más de un dato de temperatura .....	52
Figura 21. Corrección del dato de temperatura .....	52
Figura 22. Ingreso datos de entrada.....	53
Figura 23. Corrección datos de entrada.....	54
Figura 24. Datos de salida.....	54
Figura 25. Elección del Tratador Electrostático .....	55
Figura 26. Selección del método de Solución.....	55
Figura 27. Ingreso manual de la temperatura .....	56
Figura 28. Elección de temperatura.....	56
Figura 29. Selección de más de un dato de temperatura .....	57
Figura 30. Corrección del dato de temperatura .....	57
Figura 31. Ingreso datos de entrada.....	58
Figura 32. Corrección datos de entrada.....	59
Figura 33. Solución para Tratador Electrostático .....	59

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.Potencia y corriente consumida en varios intervalos de tiempo.....	29
Tabla 2.Dimensiones y Presiones típicas para Tratadores Verticales.....	30
Tabla 3.Dimensiones y Presiones típicas para Tratadores Horizontales .....	30
Tabla 4.Temperaturas promedio de tratamiento .....	36
Tabla 5.Tipo de corriente, constante "C" .....	40
Tabla 6.Cuadro resumen de parámetros de comparación .....	44

## ANEXOS

ANEXOS .....	63
ANEXO 1 .....	63
EJERCICIOS PARA DIMENSIONAMIENTO DE TRATADORES TÉRMICOS Y ELECTROSTÁTICOS .....	63
ANEXO 2.....	77
GENERALIDADES SOBRE EL TRATAMIENTO DE EMULSIONES.....	77

## RESUMEN

Los fluidos provenientes de los pozos son una mezcla en algunos casos heterogénea, dentro de la cual se encuentra principalmente crudo, agua y gas (en menores proporciones otros compuestos como azufre, nitrógeno, oxígeno entre otros). Por esta razón, en superficie se instalan equipos que permiten una efectiva separación de la mezcla en tres fases, de tal forma que puedan ser tratados por separado para que cumplan con los requisitos establecidos para entrega y venta; en donde generalmente el porcentaje de agua en el crudo debe ser igual o inferior al cero punto cinco por ciento (0.5%).

Para lograr que el crudo cumpla con los requisitos establecidos para la entrega y venta, éste es pasado por diferentes equipos en donde se realizan procesos de deshidratación, entre los cuales se encuentran los tratadores térmicos y electrostáticos.

Este estudio tiene en cuenta los parámetros de comparación, condiciones y criterios de selección de los tratadores térmicos y electrostáticos, con el objetivo de crear una herramienta software que permite al usuario tener acceso a éste de una forma fácil, sencilla y económica, en donde puede seleccionar y dimensionar dichos equipos de una manera más eficiente

## **ABSTRACT**

The fluids from wells are a heterogeneous mix in some cases, mainly composed of oil, water and gas (in minor proportions other compounds such as sulfur, nitrogen, oxygen, etc.). For this reason, surface equipment that allows effective separation of the mixture into three phases, so that they can be treated separately to comply with the requirements for delivery and sale are installed; where usually the percentage of water in the oil must be equal to or less than zero point five percent (0.5%).

To get the oil meets the requirements for delivery and sale, it is passed by different teams where dehydration processes, among which are the thermal and electrostatic treaters are made.

This study takes into account the parameters of comparison, conditions and criteria of thermal and electrostatic treaters, in order to create a software tool that allows the user to access it in an easy, simple and economical way, where you can select and size of such equipment more efficiently.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la producción mundial de hidrocarburos tiene asociada grandes cantidades de agua debido a los diferentes métodos utilizados en las etapas de recobro, extracción y recolección, la presencia de agua aumenta la posibilidad de formación de emulsiones las cuales desde el punto de vista termodinámico son inestables y su separación se realizaría por métodos sencillos, pero en los yacimientos encontramos compuestos naturales como resinas y asfáltenos, entre otros, que impiden que las gotas de agua se agrupen en conglomerados y se separen fácilmente, quedando dispersas en el petróleo.

El agua está lejos de ser soluble en hidrocarburos saturados y su solubilidad disminuye con el incremento del peso molecular de estos, por tal razón cuando el agua salada fluye con el aceite en forma de baches o como pequeñas gotas dispersas en forma estable en la masa del aceite, se forman las emulsiones que deben ser manejadas apropiadamente exigiendo tratamientos adecuados que logren optimizar la calidad del hidrocarburo para alcanzar los estándares establecidos por el cliente.

Romper las emulsiones crudo - agua es un proceso difícil de resolver, teniendo en cuenta que los fluidos de producción al pasar por los diferentes equipos en el proceso de levantamiento en subsuelo y transporte en superficie (bombas, válvulas, codos, restricciones, etc.) se agitan lo suficiente para que el agua se disperse en el aceite generando emulsión agua en aceite y logrando estabilizarse por medio de agentes emulsificantes, química coloidal o tensión interfacial. Los métodos para tratar estas emulsiones han ido evolucionando, desde el reposo en vasijas hasta complejos métodos mecánicos, eléctricos, térmicos y químicos.

En general el tratamiento de las emulsiones se efectúa combinando los efectos gravitacionales, mecánicos, térmicos, químicos y eléctricos. Gracias a todos los avances tecnológicos se han desarrollado procesos y productos, probados en laboratorios y plantas piloto para comprobar su efectividad. Lo anterior facilita el uso de equipos de tratamiento térmico y electrostático.

En este trabajo se presentan los parámetros de comparación y dimensionamiento para tratadores térmicos y electrostáticos, teniendo en cuenta normas técnicas y requerimientos operativos, que en su conjunto hacen parte de una herramienta software que le permite a la pequeña empresa realizar la selección y el dimensionamiento de una forma más económica, fácil, sencilla y eficiente en comparación con la metodología utilizada actualmente; además de ser una plataforma que le permite al estudiante aplicar las bases teóricas de manera tal que adquiera habilidad en procesos que se llevan a cabo en la industria.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES DE TRATADORES TÉRMICOS Y ELECTROSTÁTICOS

#### 1 TRATADORES

El tratamiento de emulsión es normalmente ejecutado en el crudo inmediatamente después que se le ha extraído el gas, en un recipiente diseñado como tratador bien sea térmico o electrostático.

La función del tratador es deshidratar el crudo producido, hasta alcanzar los niveles específicos de BS&W para entrega y venta del petróleo, generalmente el porcentaje de agua en el crudo debe ser igual o inferior a 0.5%.

El término BS&W hace referencia a la cantidad de sedimentos y agua presentes en el crudo, y es generalmente usado como una medida del comportamiento del tratamiento de la emulsión<sup>1</sup>

##### 1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL<sup>2</sup>

Aquí se describen los mínimos componentes con los que debe contar cualquier tipo de tratador de emulsiones, tanto para térmicos como para electrostáticos.

###### 1.1.1 Sistema de Combustión

El sistema de combustión puede tener diseño natural (sencillo) o uno complejo. Cuando se utilizan múltiples tubos en U, es recomendable diseñar quemadores, pilotos y chimeneas independientes.

###### 1.1.2 Caja de Fuego

Es un completo ensamblaje que consiste en los quemadores, flanges, entradas o tomas y adaptadores de chimenea.

###### 1.1.3 Sección de Coalescencia

Las secciones de coalescencia compuestas por grandes superficies por unidad de volumen y por lo general consisten de unas camas fibrosas (conocida como la sección de paja) o de compartimientos especialmente diseñados. Los campos electrostáticos son otros medios para inducir la coalescencia, y es comúnmente conocido como tratamiento electrostático. En esta sección se presenta la unión de las gotas de la fase dispersa (agua) formando gotas mucho más grandes, que son más fáciles de separar por efecto de la gravedad.

---

<sup>1</sup> Norma API 12L. *Specification for Vertical and Horizontal Emulsion Treater, Fifth Edition 2008*

<sup>2</sup> Granados, P. Gutiérrez, N. *Definición de estándares operativos para tratadores térmicos y termoelectrostáticos en facilidades de producción. 2007*

#### 1.1.4 Tuberías Colectoras

Tubería perforada o ranurada ubicada cerca del tope de la sección de coalescencia, es utilizada para desplazar el crudo tratado tan uniformemente como sea posible a través de esta sección del tratador y sacarlos.

#### 1.1.5 Quemadores

Los quemadores son aquella porción de la Caja de Fuego que está en contacto con los combustibles. El gas natural o hidrocarburos líquidos son normalmente empleados para encender el tratador a lo largo de un compartimiento sumergido del horno llamado el quemador. El quemador consta generalmente de uno o más tubos en forma de U, encendidos en un extremo y que terminan en una chimenea vertical para cada uno de los tubos.

#### 1.1.6 Grid o enmallado

En los tratadores electrostáticos el campo eléctrico está distribuido por un montaje de acero de los platos, las barras, las pantallas o de las combinaciones de éstos, comúnmente llamadas grid o enmallado. El grid permite transmitir el campo eléctrico que permite la coalescencia de las gotas de agua. El grid no proporciona calor. El área proyectada de la rejilla es significativa al funcionamiento y a la capacidad del tratador.

#### 1.1.7 Intercambiador de Calor

Caparazón, tubo, placa u otro tipo de intercambiador de calor empleado para transmitir calor del aceite crudo tratado y que se usa para precalentar la emulsión a tratar.

#### 1.1.8 Cubierta o capillas del calentamiento

Baffles alrededor del quemador que incrementan la eficiencia del calentamiento de la emulsión.

#### 1.1.9 Filtros para detención de llama

Dispositivo puesto en el quemador para prevenir que la llama alcance el exterior del tratador.

#### 1.1.10 Interfase de drenaje

Conexión de tubería que se extiende hasta el nivel de interfase normal con una válvula a través de la cual se libera el lodo que puede quedar acumulado.

#### 1.1.11 Bafle medio

En los tratadores horizontales de emulsión, se ubica un bafle o mampara hermética entre la sección de calentamiento y la de coalescencia. Normalmente se le conoce como bafle de la mitad o mampara hermética.



#### 1.1.12 Sistema para Eliminación de Sedimentos

Sistema de una o más tuberías perforadas o boquillas, en la parte baja de los tratadores de emulsiones, y que se usan periódicamente para vaciar los sedimentos, empleando abundante agua.

Los baffles en ángulo invertido localizados sobre las salidas de las conexiones, facilitan la salida uniforme de arena y sedimentos. Las muescas en los canales aumentan la velocidad del agua al momento de salir del tratador para facilitar el arrastre.

#### 1.1.13 Rociadores (propagador)

Dispositivo o sistema diseñado para distribuir la emulsión uniformemente a través de la sección transversal del caparazón de todos los tratadores.

#### 1.1.14 Filtro de Chispa

Dispositivo puesto en la chimenea para prevenir que las chispas sean emitidas a la atmósfera exterior. Compuesta normalmente por una pantalla metálica de alambre atada al tope de la chimenea.

#### 1.1.15 Protector de Lluvia de la Chimenea

Dispositivo unido a la tapa de la chimenea para evitar que la lluvia caiga directamente en la chimenea. Puede también servir como desviador de la corriente descendente de la chimenea.

#### 1.1.16 Turbuladores

Diseño de baffles que inducen turbulencia y aumentan la eficiencia de la transferencia de calor.

#### 1.1.17 Rompedor de Vórtices

Dispositivos situados en las salidas de las boquillas para prevenir la formación de vórtices.

#### 1.1.18 Sifón del Agua

Sistema de tubos que controla el flujo de agua a través del tratador y que ajusta el nivel de la interfase agua-aceite dentro del mismo.

### 1.2 TRATADOR TERMICO<sup>3</sup>

Con frecuencia el calentamiento de emulsiones se hace en recipientes que trabajan a presión y que se conocen como tratadores, además del calentamiento se presenta los efectos de coalescencia y asentamiento de la fase dispersa de la emulsión. Los tratadores térmicos pueden ser verticales u horizontales.

---

<sup>3</sup> Granados, P. Gutiérrez, N. *Definición de estándares operativos para tratadores térmicos y termoelectrostáticos en facilidades de producción.* 2007

### 1.2.1 Secciones de un tratador térmico

- ✓ Separación: Separa el gas que arrastra la emulsión.
- ✓ Extracción: Separa las gotas de líquido demasiado pequeñas para asentarse por gravedad (de 10 a 200 micras de diámetro).
- ✓ Acumulación de agua libre: Permite la separación y acumulación del agua libre que acumula y que acompaña la emulsión, con el fin de evitar emulsificación adicional y reducir la cantidad de calor requerida en la sección de calentamiento.
- ✓ Calentamiento: Incluye los quemadores y el sistema de intercambio de calor, formados normalmente tubos en “u” rodeados por la columna de agua de lavado.
- ✓ Filtración baja: En esta sección se realiza un proceso de filtración forzada de la emulsión a través de un lecho filtrante de paja, ocasionando el rompimiento de la película formada por el agente emulsificante. Además actúa como una barrera entre las secciones de calentamiento y asentamiento asegurando un reposo más completo de esta última.
- ✓ Asentamiento: Permite la precipitación de las últimas gotas de agua a medida que el crudo asciende. Debe ser tan grande y libre de agitación como sea posible.

### 1.2.2 Tratadores térmicos verticales

Son los más utilizados para tratar corrientes de pozos individuales. El aceite proveniente de los separadores de prueba y/o producción llega a esta unidad donde se agrega calor para ayudar a separar más agua del aceite. Como resultado del calor y de la baja presión, una cantidad adicional de gas es también separada del aceite en la cámara de separación de gas, ubicada en la sección superior del tratador. La sección de separación de gas puede tener un desviador de entrada y un eliminador de niebla. El gas luego sale por el tope del tratador donde es evacuado hacia el quemador por la válvula de contra-presión del tratador (PCV) que mantiene la presión del equipo normalmente en 30 PSI o menos.

El aceite fluye de la sección superior a la parte inferior del tratador a través de un conducto o tubo descendente dentro del recipiente. En el extremo inferior del tubo descendente, el aceite fluye a través del propagador o rociador que esparce el fluido que sale a medida que éste comienza a subir. El agua libre se separa del aceite y la emulsión. Luego de retirada el agua libre de la mezcla, el aceite y la emulsión flotan hacia arriba pasando por los piro tubos y por el colchón de agua presente en los mismos.

Este proceso ocurre en la sección de calentamiento y lavado. El calor agregado en esta sección, hace que el agua y el aceite se separen aún más; similarmente el

calor hará que se separe una cantidad adicional de gas. Los tubos que producen el calentamiento siempre deben estar sumergidos en una fase líquida.

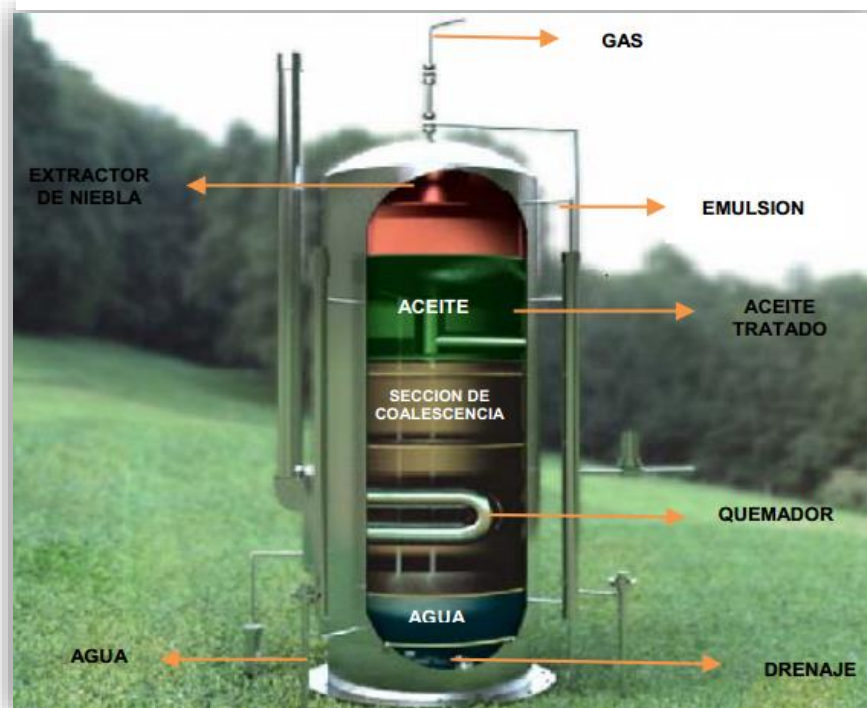
Luego de la zona de calentamiento, la mezcla pasa finalmente a una zona de coalescencia y asentamiento, donde permanece un determinado tiempo en reposo para permitir que se separen las fases. El aceite en el tratador sale por una boquilla superior a un lado del recipiente, hacia otra tubería vertical que conduce a la válvula de control de nivel de aceite. El nivel de aceite en el tratador se fijará normalmente a la altura la boquilla de salida del aceite del recipiente.

El agua cae en la parte inferior del tratador mientras que el aceite sube. Cualquier gas que se separe del aceite, subirá al tope del aceite donde se unirá al gas separado en la primer parte del proceso. El agua sale por el fondo del recipiente por una tubería interior en el tubo vertical (columna reguladora) exterior.

El calor impuesto al tratador se varía con una válvula y un controlador de temperatura que cambia el flujo de gas en los quemadores. El tratador térmico vertical opera por lo general entre 60°C (140° F) y 85°C (185°F).

La altura de la interfase agua-crudo es regulada por la válvula de salida del agua y por la altura del sifón. Tanto la salida de agua como la salida de crudo se manejan con un tipo de válvula autorregulada. Este tipo de válvulas funcionan con base al peso de la columna hidrostática.

**Figura 1. Tratador térmico vertical**



Fuente: <http://www.lunarstudio.com/animation-renderings.html>

### 1.2.3 Tratadores térmicos horizontales

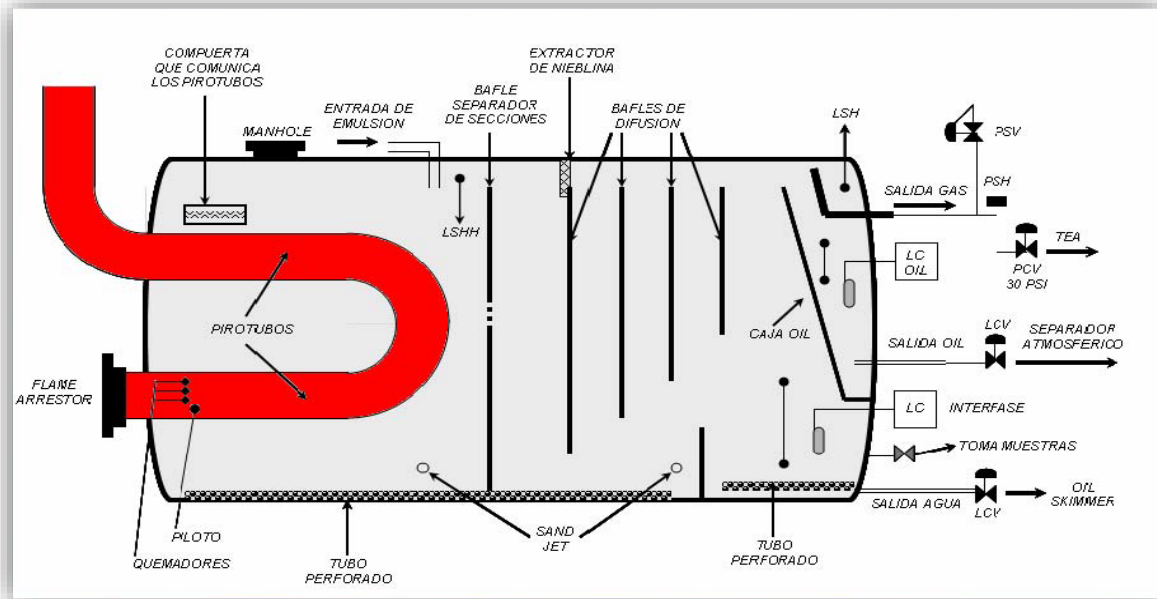
El separador térmico horizontal es empleado generalmente cuando se requieren tratar crudo de diferentes líneas de producción. La emulsión entra por la parte superior del equipo y se encuentra contra el final del pirotubo; Luego el crudo pasa a la sección de asentamiento, el gas que se separa en esta sección busca el tope del equipo

Una vez la emulsión es calentada pasa a la sección de calentamiento en donde se promueve la coalescencia de las gotas de agua ya que imprimen un paso tortuoso a la emulsión. Posteriormente el crudo rebosa a una caja recolectora ubicada en la parte final del equipo y cuyo nivel es mantenido por medio de un desplazador.

En la sección de asentamiento el agua que se separa del crudo se une con el agua libre proveniente de la sección de calentamiento y sale por la parte inferior del equipo por intermedio de un tubo que posee orificios por la parte inferior. El control de nivel de la interfase en el equipo es hecho por un desplazador que envía una señal a un controlador que a su vez gobierna una válvula de control de nivel, la cual permite la salida de agua.

El gas proveniente de la sección de calentamiento y el gas separado inicialmente pasan a través de un extractor de niebla en el cual son atrapados los líquidos que puedan haber sido arrastrados. Posteriormente todo el gas generado se dirige a la parte superior del equipo. El gas que sale posteriormente debe permitir mantener presurizado al equipo y el gas evacuado de este equipo es finalmente quemado por lo general en una Tea.

**Figura 2. Tratador térmico horizontal**



Fuente: PERENCO COLOMBIA LIMITED

#### 1.2.4 Principios de la deshidratación térmica

La acción del calor es principalmente disminuir la viscosidad de la fase continua permitiendo una velocidad de asentamiento más rápida. La viscosidad de la emulsión varía directamente con la proporción de la fase dispersa. Los sistemas altamente dispersos son los más viscosos.

El rompimiento de las emulsiones y la decantación del agua separada, se logra principalmente por efectos del calor. La eficiencia de separación aumenta cuando el calor es usado en unión de agentes emulsificantes.

Agregar calor puede causar una significativa pérdida de los hidrocarburos volátiles y por consiguiente reducción del volumen de aceite. Las moléculas que salen del aceite pueden escaparse o se pueden comprimir y venderse con el gas.

Otra desventaja de incrementar la temperatura de tratamiento es que el volumen de aceite crudo disminuye y esta disminución significa una pérdida monetaria.

#### 1.3 TRATADOR ELECTROSTATICO<sup>4</sup>

Un tratador electrostático es un tanque a presión que combina todo el equipo necesario para tratar la emulsión. Su objetivo principal es separar la emulsión y permitir al agua sedimentarse, para la obtención de crudo limpio.

La combinación específica de métodos de tratamiento en una unidad dependerá del tipo de tratamiento y la posición de la unidad dentro del sistema de tratamiento. Estos pueden ser calentados directamente o tener un medio externo como fuente de calor.

Los tratadores electrostáticos son utilizados para separaciones de tres fases: separando crudo, agua y gas, se inyectan sustancias químicas a la corriente de la emulsión que entra al tratador, por lo tanto, el proceso ya ha comenzado cuando la emulsión entra al tratador, la emulsión ingresa a la sección de entrada por la parte superior de la unidad y cae al fondo del recipiente, la mayor parte del agua contenida en la emulsión se sedimenta y los líquidos restantes más ligeros se mueven hacia arriba, a través del agua, lo cual les sirve como un baño caliente. A medida que la emulsión continúa su ascenso, fluye a través del dispersador y a lo largo de los tubos de fuego. Esta acción asegura el máximo uso del calor para el calentamiento de la emulsión.

El gas, el cual ya ha sido separado de la emulsión, se eleva hacia la parte superior de la sección de entrada. Un tubo igualador permite que la presión del gas en ambos lados del deflector se empareje o iguale, se colecte y sea eliminado del tanque a través del tubo de salida del gas.

El crudo limpio no abandona la sección de coalescencia a menos que una cantidad igual de líquido entre a esta sección. Este proceso es controlado por un flotador en la sección de inundación el cual se encuentra mecánicamente unido a la válvula de eliminación de crudo. Dentro de la sección de coalescencia, un propagador de flujo asegura la distribución uniforme de la emulsión.

Desde el propagador la emulsión asciende hacia las rejillas eléctricas de corriente alterna y alto voltaje. La rejilla más baja tiene una carga de 15.000 a 20.000 voltios de electricidad. La más alta está adherida al tanque. El tratamiento electrostático comienza por debajo de ésta y la más alta, donde las gotas de agua se combinan entre sí, se sedimenta y se polarizan. Cuando una gota de agua se polariza adquiere una carga positiva (+) en un extremo y una negativa (-) en el otro. De esta forma se hace que las gotas de agua se muevan rápidamente y choquen entre sí con una fuerza suficiente como para romper la delgada película que rodea cada gota. Las gotas de agua se combinan convirtiéndose en gotas más grandes y se sedimentan en el fondo de la sección de separación para ser eliminadas.

El sistema eléctrico consiste en un transformador de aumento y dos rejillas eléctricas (electrodos), estos componentes están diseñados para recibir alto voltaje. El transformador es el corazón del sistema eléctrico. Muchos tratadores electrostáticos tienen un transformador con un reactor de alto voltaje para protegerlo de aumentos de energía imprevistos.

---

<sup>4</sup> Mancilla, O. *Estudio del sistema eléctrico del tratador térmico-electrostático en la isla VI del campo Cantagallo*. 2008

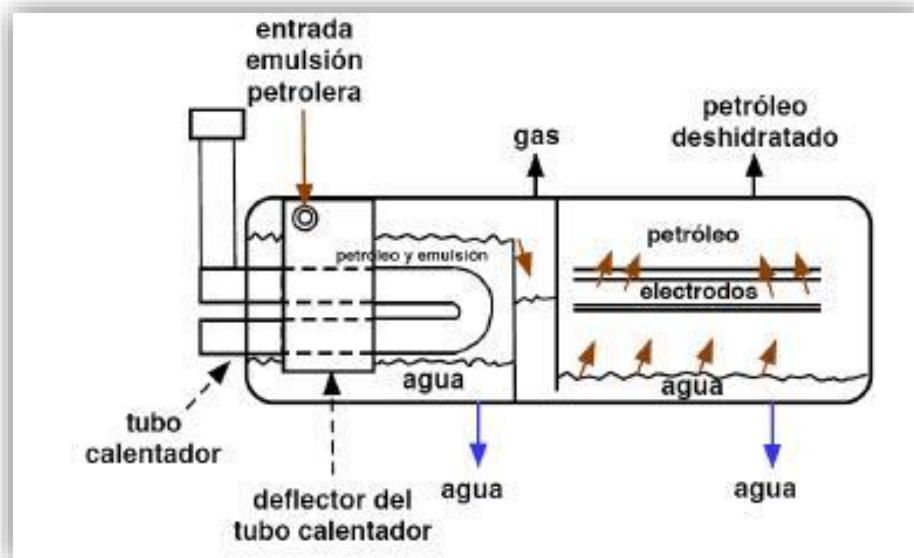
La temperatura de operación es importante y varía de un campo a otro. Debe usarse la temperatura mínima posible para tratar adecuadamente la emulsión. En climas cálidos, solo será necesaria durante los meses fríos.

Cuando la aplicación de calor se hace necesaria, temperaturas más bajas pueden usarse en tratadores electrostáticos que en tratadores convencionales. Las temperaturas de tratamiento normalmente oscilan entre las escalas de 85° y 135°F, La temperatura de una emulsión en la sección de entrada debería ser de unos 140°F para que la temperatura del fluido en la sección de entrada alrededor de las rejillas nunca baje de 70°F. Si la temperatura del fluido baja de este nivel, las rejillas no tendrán el efecto en el tratamiento de la emulsión.

La relación entre los químicos y la temperatura es un factor de importante consideración. Usualmente se requieren menos químicos para tratar una emulsión caliente. Sin embargo, el ahorro de químicos, cuando hay temperaturas más altas puede compensarse o anularse con la pérdida de ganancias causadas por la gravedad, la pérdida de volumen en el crudo y el aumento en los costos del combustible.

Los tratadores electrostáticos operan bajo presiones de 5 a 30 psig por pulgada cuadrada (34 a 340KPa). La máxima presión operante de un tratador aparece en la placa de información del fabricante adherida a la pared externa de tratador.

**Figura 3. Tratador electrostático**



Fuente: <http://www.cielo.org.mx>

### 1.3.1 Secciones del tratador electrostático

Un tratador electrostático está dividido en 3 secciones.

- ✓ La primera sección ocupa aproximadamente el 50% de su longitud y es llamada "Sección de calentamiento".
- ✓ La segunda sección es llamada "Sección central o control de nivel" y esta ocupa por alrededor del 10% de su longitud ubicada adyacente a la sección de calentamiento.
- ✓ La tercera sección ocupa el 40% de la longitud del tratador y es denominada "Sección de asentamiento" del agua suspendida para la separación del crudo limpio.

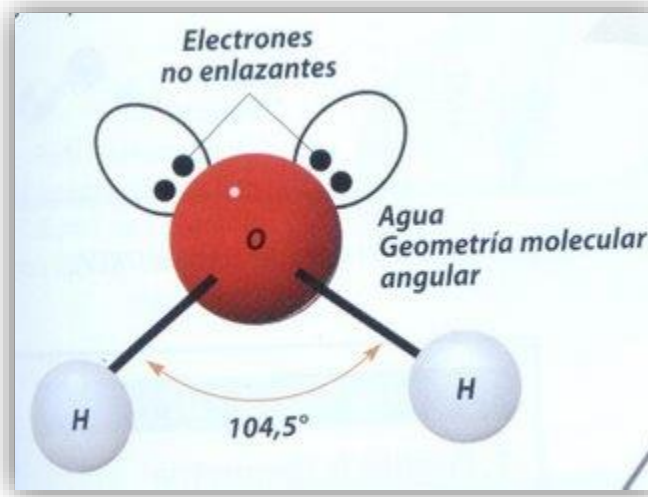
### 1.3.2 Principios de la deshidratación electrostática

La deshidratación electrostática consiste en la aplicación de un campo eléctrico, que induce una orientación polarizada de cargas sobre las moléculas en la superficie de las gotas de agua. Los cambios de polaridad del campo eléctrico aplicado ocasionan una alta frecuencia de choques entre las gotas de agua.

El principio electrostático de coalescencia se basa en la estructura de la molécula de agua, que corresponde a un campo eléctrico por su configuración, se puede interpretar que un extremo es negativo (oxígeno), y que el otro extremo es positivo (hidrógeno).

La molécula del agua se representa por un modelo triangular donde el ángulo de los enlaces O-H es de 104.5 grados aproximadamente, debido al carácter Electronegativo del Oxígeno.

**Figura 4. Modelo triangular de una molécula de agua**

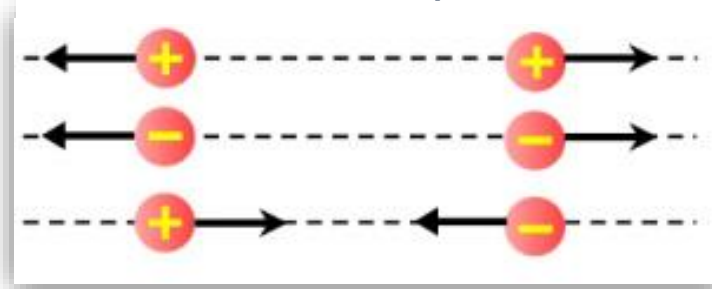


Fuente: <http://iiquimica.blogspot.com>



Al aplicar un campo eléctrico la gota de agua se hace dipolar, pasando la gota de una forma esférica a una elipsoidal. Cuando se produce la elongación para que la gota alcance la forma elipsoidal, se afecta a la película superficial de la gota lo cual facilita el contacto con gotas vecinas y facilita la coalescencia de las mismas. Sin embargo, el efecto más importante radica en el desplazamiento de las cargas afectadas al ser sometidas a un campo eléctrico.

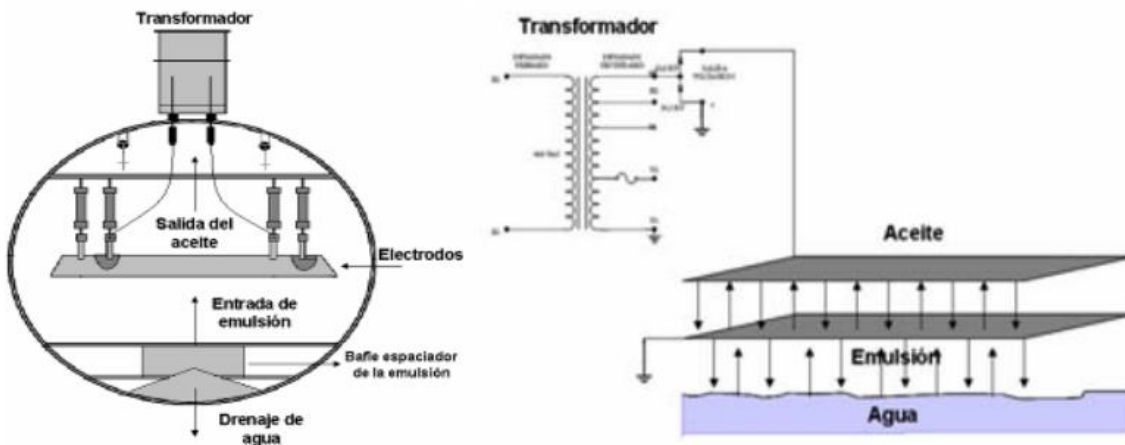
**Figura 5. Desplazamiento de las cargas al ser sometidas a un campo eléctrico**



Fuente: <http://luzgualli.blogspot.com>

La deshidratación electrostática permite tratar emulsiones con gotas de agua con diámetros entre 1 a 10 micrones. El campo origina la concentración de cargas, el alargamiento de las gotas de agua en forma esferoide ovalada y promueve el contacto agua/agua por el estiramiento del material "interfacial" en los polos de las gotas. Los gradientes que generalmente se aplican tienen una variación entre 0.5 a 5.0 Kv/cm. Gradientes fuera de este rango, conducen a una disminución marcada de la eficiencia del tratamiento. Cuando una gota crece se acerca a un tamaño crítico y recibe gradientes innecesariamente más altos, estos disipan la fuerza y ocasionan la ruptura de las gotas más grandes.

**Figura 6. Esquema de aplicación del campo electrostático**



Fuente: Mancilla, O. (2008). *Estudio del sistema eléctrico del tratador térmico-electrostático en la isla VI del campo Cantagallo.*

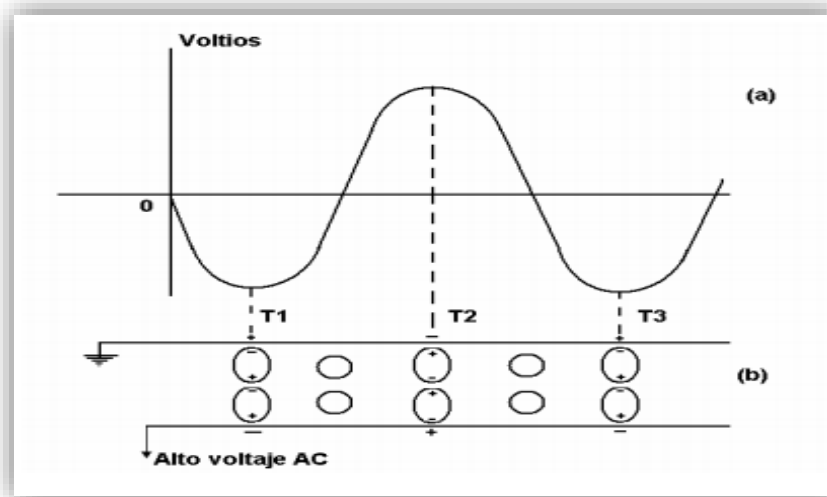
El esquema anterior muestra los componentes requeridos para la aplicación del campo electrostático usando voltaje AC.

Este lo conforman tres componentes primarios:

Fuente de poder. La cual suministra el voltaje primario de línea, una fase AC, 220-480 v, 50-60 Hz y el transformador convierte al voltaje necesario de 12-30 kv, 50-60 Hz que es alimentado al Tratador a través de un buje llamado bushing o sello de presión, el cual va conectado a la carcasa del electrodo interior (placas paralelas) que se denomina electrodo cargado y al electrodo conectado a tierra. Como se muestra en la figura 6, existen dos campos separados debido a la configuración. Uno se presenta entre los electrodos del equipo y el otro de menor intensidad se forma entre el electrodo cargado y la interfase aceite/agua, debido a que el agua es un polo a tierra y actúa como tercer electrodo del sistema.

La figura 7-a es una representación de la onda sinusoidal AC aplicada en el tratador electrostático. La figura 7-b es una muestra del electrodo que está cargado y el que está a tierra que crean el campo AC, con las gotas suspendidas en el área de gran gradiente entre los electrodos.

**Figura 7. Representación de comportamiento de las gotas de agua en comparación con la onda sinusoidal AC**



**Fuente:** Mancilla, O. (2008). *Estudio del sistema eléctrico del tratador térmico-electrostático en la isla VI del campo Cantagallo.*

El análisis del gráfico anterior muestra la existencia de tiempos inefectivos por su misma naturaleza.

El tiempo T1, la curva sinusoidal es negativa y carga el electrodo. El electrodo a tierra es positivo, el par de gotas se alinean de acuerdo a dichas polaridades. Debido a que la onda sinusoidal se vuelve positiva, pasando a través de la línea base ó cero y en este instante no hay campo eléctrico alguno, por consiguiente las gotas toman la forma de más baja energía, como lo muestra las dos esferas adyacentes al primer par de gotas cargadas.

La onda continua hacia la posición positiva en el tiempo T2 y las polaridades se invierten. Este cambio continua 120 veces/seg. Aunque una fuerza de atracción es creada siempre que la onda no este realmente en la línea base, esta es una fuerza de atracción variable.

Aproximadamente el 50% del tiempo, el campo eléctrico es reducido por el carácter de voltaje AC siendo intelectivo en un área que se supone de alto campo eléctrico, lugar donde se realiza el trabajo final y más difícil de la coalescencia de las más pequeñas partículas de agua.

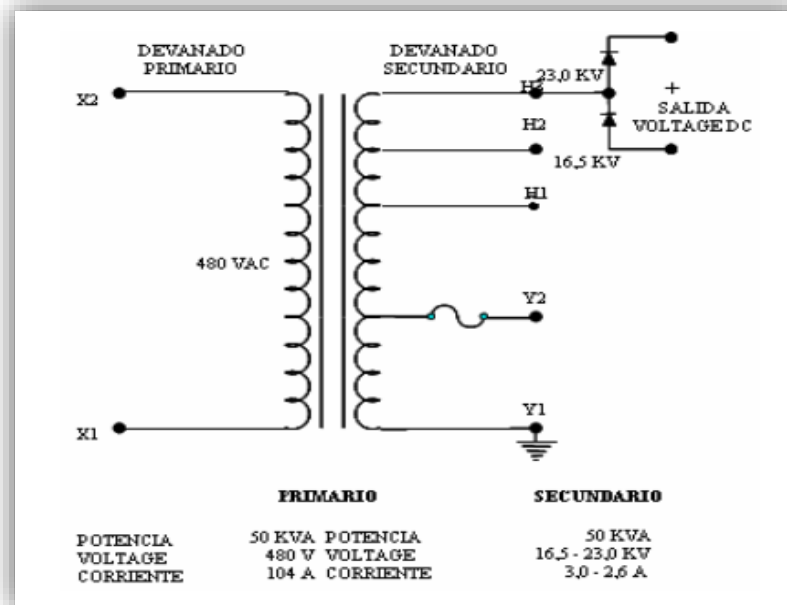
Los tamaños de partículas en este punto del sistema van de 100 a 1 micrón. Obviamente un gradiente eléctrico invariable altamente efectivo es necesario para la coalescencia de las más diminutas partículas donde la separación gravitacional puede oponerse al empuje vertical de la corriente ascendente de emulsión. El uso de tensión AC en áreas de bajo gradiente entre la interfase de agua y el electrodo cargado es esencial en esta área del proceso de mayor contenido de agua. Los tamaños de las gotas removidas de la corriente, en esta fase son considerables y responden fácilmente a este campo cambiante debido a su tamaño y a su número, el cual las acerca bastante.

En la aplicación de potenciales de polaridad dual, tanto para el positivo como para el negativo, el área de alto gradiente entre electrodos provoca exitosamente la coalescencia de la mayoría de gotas de 1 y 2 micrones, dando como resultado un muy bajo contenido de agua en el efluente del Tratador.

### 1.3.3 Sistema de potencia de la sección de coalescencia

El Tratador Electrostático en su sistema de potencia consta de un transformador térmico convertidor de la señal de corriente alterna (AC) a una señal de corriente directa (DC) y alterna (AC), esta conversión de señal la realiza gracias a un sistema de diodos. Este transformador tiene una magnitud de entrada en tensión de 480 V y con una salida que está en un rango entre 16,5-23KV, para la magnitud de tensión de salida consta de un cambia taps para graduar el nivel de tensión requerido, este transformador es denominado transformador elevador, este transformador está diseñado para soportar altas temperaturas y sus devanados se encuentran sumergidos en aceite para su refrigeración, no consta de placas metálicas externas circulantes de aceite debido al calentamiento inducido por el Tratador y sumado a este el calentamiento ambiental. La siguiente figura se muestra el circuito unifilar de dicho transformador.

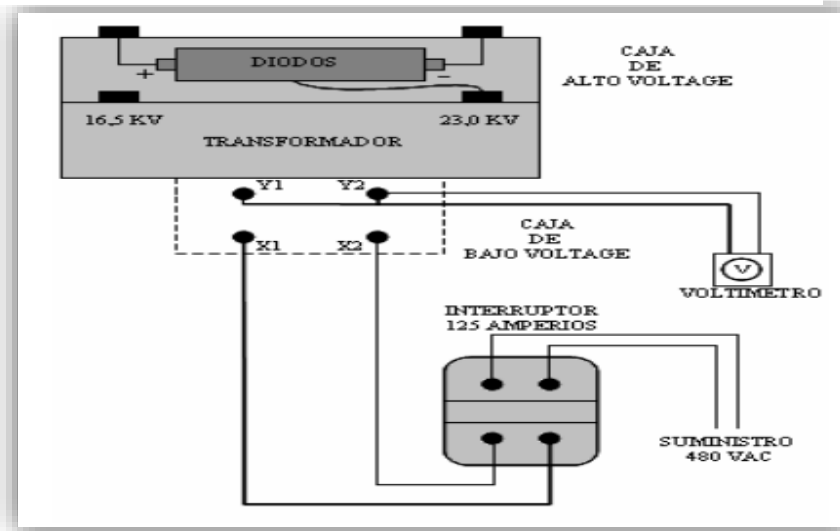
**Figura 8. Circuito unifilar del transformador de tensión de doble polaridad del tratador electrostático**



Fuente: Mancilla, O. (2008). *Estudio del sistema eléctrico del tratador térmico-electrostático en la isla VI del campo Cantagallo.*

El sistema de potencia debe contar con un sistema de puesta a tierra alrededor del Tratador electrostático.

**Figura 9. Diagrama unifilar del sistema de control de la sección electrostática**



Fuente: Mancilla, O. (2008). *Estudio del sistema eléctrico del tratador térmico-electrostático en la isla VI del campo Cantagallo.*

Su relación de transformación está dada por  $n_a=480V/16,5 \text{ KV}=0,029$  y  $n_b=480V/23 \text{ KV} =0,02086$ .

La corriente de entrada es igual a 87A y la relación de corriente está dada por  $n= I_2/I_1$  por tanto la corriente de salida es igual a  $I_a = 0,029*87 = 2,523A$  para una tensión de salida de 16,5 KV y  $I_b = 0,02086*87 = 1,81482A$ .

Las anteriores corrientes  $I_a$  y  $I_b$  son el rango aplicado a las placas para el proceso electrostático.

**Tabla 1.Potencia y corriente consumida en varios intervalos de tiempo**

KVA	SUMINISTRO VOLTAGE VAC	CORRIENTE NORMAL AMPERIOS	MAXIMA CORRIENTE AMPERIOS	POTENCIA NORMAL KILOVATIOS	POTENCIA MAXIMA KILOVATIOS
5	480	2,08	10,4	0,95	2,49
15	480	6,25	31,25	2,85	7,5
25	480	10,42	52,08	4,75	12,5
50	480	20,83	104,17	9,5	25,0

**Fuente:**Mancilla, O. (2008). *Estudio del sistema eléctrico del tratador térmico-electrostático en la isla VI del campo Cantagallo.*

La anterior tabla muestra el registro de corriente normal y máxima y su respectiva potencia consumida en diferentes intervalos de tiempo, esto se debe a que el crudo no mantiene sus características de forma constante.

## CAPITULO II

### 2 DIMENSIONAMIENTO DE LOS TRATADORES

#### 2.1 DIMENSIONAMIENTO DE LOS TRATADORES TÉRMICOS<sup>5</sup>

Los tratadores armados acorde a las especificaciones API, bien sean verticales y horizontales, están disponibles en diferentes rangos de tamaño y presión, la máxima temperatura del diseño puede estar limitada por el tipo y los materiales de los flanges y de las arandelas.

**Tabla 2. Dimensiones y Presiones típicas para Tratadores Verticales**

Diámetro externo (ft)	LSS	Presión del diseño (psig)
3	10, 12 o 15	50
4	10, 12, 20, o 27 ½	50
6	12, 20 o 27 ½	50
8	20 o 27 ½	40
10	20 o 27 ½	40

FUENTE: API SPECIFICATION 12L, Specification for Vertical and Horizontal Emulsion Treaters, FOURTH EDITION, NOVEMBER 1, 1994

**Tabla 3. Dimensiones y Presiones típicas para Tratadores Horizontales**

Diámetro externo (ft)	LSS	Presión mínima del diseño (psig)
3	10, 12 o 15	50
4	10, 12 o 15	50
6	10, 15 o 20	50
8	15, 20, 25 o 30	50
10	20, 30, 40, 50 o 60	50
12	30, 40, 50 o 60	50

FUENTE: API SPECIFICATION 12L, Specification for Vertical and Horizontal Emulsion Treaters, FOURTH EDITION, NOVEMBER 1, 1994

Las ecuaciones que a continuación se relacionan fueron extraídas del trabajo realizado por Arnold, K. Stewart, M. (1989). *Surface Production Operation, Design of Oil-Handling Systems and Facilities*. Vol 1. Second edition .

##### 2.1.1 Viscosidad del crudo

Los efectos de Temperatura al agregar calor a la corriente agua-aceite que está entrando es el método tradicional para la separación de fases. El calor reduce la viscosidad de aceite, permitiendo una velocidad de asentamiento más rápida.

---

<sup>5</sup>Arnold, K. Stewart, M. 1989. *Surface Production Operation, Design of Oil-Handling Systems and Facilities*. Vol 1. Second edition

En ausencia de datos de laboratorio, existen correlaciones que dan la gravedad del aceite, relacionadas con viscosidad y temperatura. Una ecuación que relaciona viscosidad, gravedad y temperatura fue desarrollada por Beggs y Robinson después de haber observado 460 sistemas de aceite.

**Ecuación N°. 1**

$$\mu_o \approx 10^x - 1$$

Dónde:

$\mu_o$ : Viscosidad del aceite, (cp)

T: Temperatura del aceite; (°F)

G: API

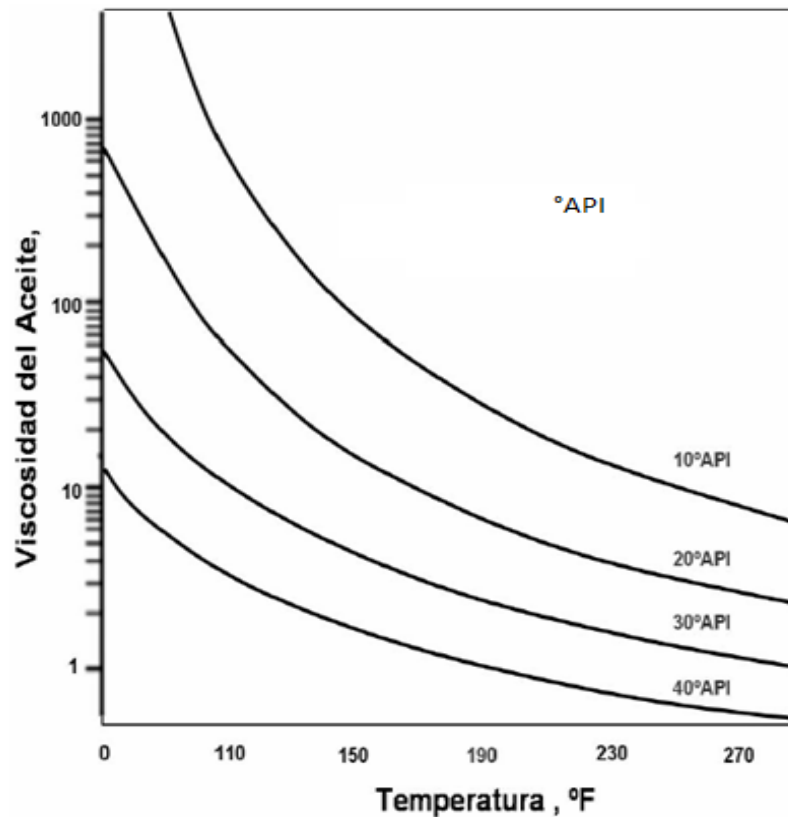
$X = yT^{-1.163}$

$Y = 10^Z$

$Z = 3.0324 - 0.02023G$

Estos datos fueron obtenidos trabajando con un rango de gravedad API entre 16 y 58° y temperaturas entre 70 y 295°F. La siguiente figura es una representación gráfica de la anterior ecuación.

**Figura 10. Viscosidad del aceite**



**Fuente:**Arnold,K.Stewart,M. (1989). *Surface Production Operation,Design of Oil-Handling Systems and Facilities*. Vol 1.Second edition .

Agregar calor puede causar una significativa pérdida de los hidrocarburos volátiles y por consiguiente reducción del aceite. Las moléculas que salen del aceite pueden escaparse o se pueden comprimir y venderse con el gas. Aún si estas moléculas se venden con el gas, representan una pérdida neta de la entrada realizada por convertir volumen de líquido a gas.

Otra desventaja de incrementar la temperatura de tratamiento es que el volumen de aceite crudo disminuye y esta disminución significa una pérdida monetaria.

Al incrementar la temperatura, la disminución en gravedad específica tanto del crudo como del agua, permite que el agua sea separada del crudo. Dependiendo de las propiedades del crudo, la diferencia en gravedad específica puede aumentar o disminuir, dependiendo de las características del aceite crudo. En muchos casos si la temperatura de tratamiento es menor de 200°F el cambio en gravedad específica con la temperatura puede ser despreciado. Si se utiliza combustible para dar calor, el costo de este combustible debe ser considerado. Así, mientras se necesite calor para tratar un crudo adecuadamente, se debe utilizar la menor cantidad de calor.

#### 2.1.2 Tamaño de las gotitas de agua

Es importante determinar el tamaño de las gotitas de agua a usarse en la ecuación de asentamiento. Es muy raro tener datos de coalescencia para un sistema dado en el laboratorio. Cualitativamente, se puede esperar que el tamaño de las gotitas de agua incremente con el tiempo de retención en la sección de coalescencia y también incremente con la entrada de calor, la cual excita el sistema y multiplica el número de colisiones entre las gotas. También se puede esperar que el tamaño de las gotas decrezca con la viscosidad del aceite, la cual inhibe el movimiento de las partículas y disminuye la fuerza de colisión; todo lo anterior, buscando siempre que el crudo finalmente presente los valores BS&W requeridos.

Después de un período inicial, el incremento del tiempo de retención tiene un pequeño impacto sobre la tasa de crecimiento de la partícula. En consecuencia para tratadores diseñados prácticamente el tiempo de retención no es una variable determinante. Intuitivamente, se espera que la viscosidad tenga mayor efecto sobre la coalescencia que la temperatura.

Con esto se puede asegurar que la ecuación que ofrece resultados razonables es:



## Ecuación N°. 2

$$dm \approx 500(\mu_o)^{-0.675}$$

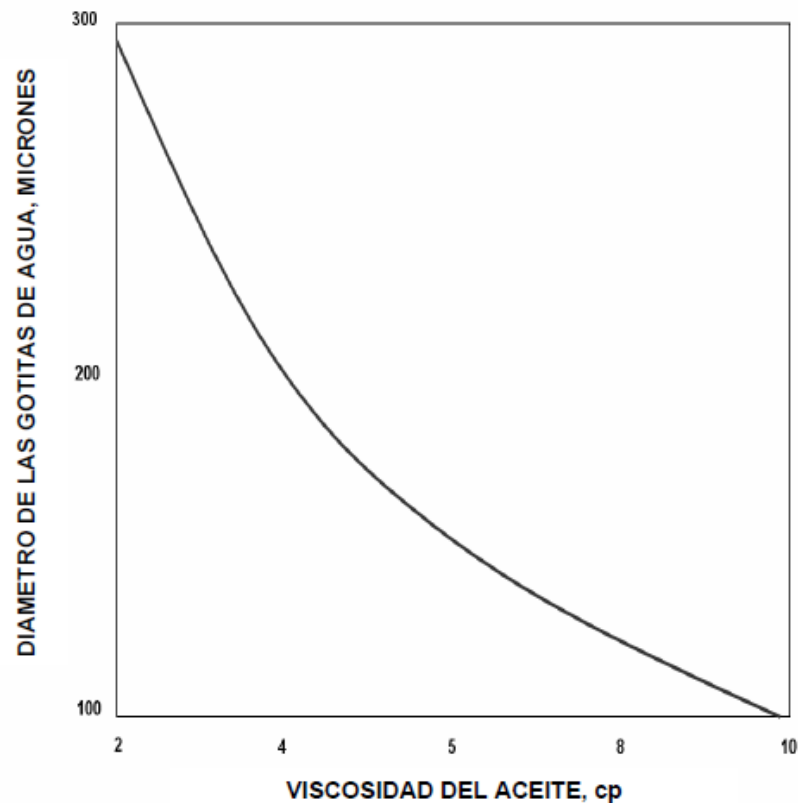
Donde:

dm: Diámetro de la gota de agua, (micrones)

$\mu_o$ : Viscosidad del aceite, (Cp)

Esta relación se muestra en la siguiente figura. Es aconsejable que se use solo en ausencia de otros datos y experiencia puntuales, ya que esta correlación se basa en una limitada experiencia.

**Figura 11. Tamaño de gotitas de agua**



**Fuente:**Arnold,K.Stewart,M. (1989). *Surface Production Operation,Design of Oil-Handling Systems and Facilities*. Vol 1.Second edition .

De la misma forma para el cálculo del diámetro de la gota puede ser empleada la siguiente ecuación

## Ecuación N°. 3

$$dm = 200 * (\mu_o)^{0.25}$$

### 2.1.3 Sección de asentamiento

La diferencia de gravedad específica entre las gotitas de agua dispersadas y el aceite puede causar que el agua llegue hasta el fondo del tratador. Esto permite que el régimen de flujo en el asentamiento de las gotitas de agua pueda ser laminar y está gobernado por la Ley de Stokes.

Haciendo la velocidad de asentamiento igual a la velocidad del aceite; se pueden derivar las siguientes ecuaciones generales:

#### **Ecuación N°. 4** Tratadores horizontales

$$D_i \times L_{eff} \approx \frac{438(Q_o\mu_o)}{\Delta SG \times (dm)^2}$$

#### **Ecuación N°. 5** Tratadores verticales

$$D_i \approx 81.8 \left[ \frac{(Q_o\mu_o)}{\Delta SG \times (dm)^2} \right]^{1/2}$$

Dónde:

$D_i$ : Diámetro tratador, (*in*)

$Q_o$ : Tasa de flujo de aceite, (*BPD*)

$\mu_o$ : Viscosidad del aceite, (*cp*)

$L_f$ : Longitud de la sección de coalescencia, (*ft*)

$\Delta SG$ : Diferencia de gravedad específica entre aceite y agua

$dm$ : Diámetro gotita de agua, (*micrones*)

Se puede ver que la altura de la sección de coalescencia en un tratador vertical no está incluida en la ecuación de asentamiento. El área transversal de flujo para la velocidad ascendente del aceite es función únicamente del diámetro del tratador.

### 2.1.4 Tiempo de retención

El aceite puede ser mantenido a cierta temperatura por un período específico para quebrar la emulsión de agua en aceite. Esta información se determina mejor en el laboratorio; sin embargo en ausencia de tales datos, se recomienda utilizar 20 a 30 minutos como tiempo de retención.

Dependiendo de las propiedades específicas de la corriente a ser tratada, la geometría requerida para dar un cierto tiempo de retención puede ser mayor o menor que la geometría requerida para satisfacer la ecuación de asentamiento.

La geometría del tratador es determinada por el mayor de los dos criterios. Las ecuaciones para tiempo de retención son las siguientes:

#### **Ecuación N°.6** Tratadores horizontales

$$(D_i)^2 \times L_{eff} \approx \frac{Tr \times Q_o}{1.05}$$

#### **Ecuación N°.7** Tratadores Verticales

$$(D_i)^2 \times h \approx \frac{Tr \times Q_o}{0.12}$$

Dónde:

Tr: Tiempo de retención, (*min*)

Qo: Flujo aceite, (*BPD*)

hr: Altura de la sección de coalescencia, (*in*)

#### 2.1.5 Calor requerido

La cantidad de calor y por tanto la cantidad de combustible requerido para el tratamiento depende de la elevación de la temperatura, la cantidad de agua en el aceite y la tasa de flujo. Se requiere cerca de dos veces más energía para calentar el agua que el aceite. Por esta razón, es beneficioso separar el agua libre de la emulsión que va a ser tratada con cualquier separador de agua libre dentro del mismo tratador.

Suponiendo que el agua libre ha sido separada de la emulsión y que el remanente es menor del 10% y que el tratador está aislado para minimizar las pérdidas de calor, el calor requerido puede ser determinado por la ecuación:

#### **Ecuación N°. 8**

$$q \approx 16Q_o\Delta T(0.5G_o + 0.1)$$

Dónde:

q: calor que entra, (*BTU/hr*)

Qo: tasa de flujo de aceite, (*BPD*)

$\Delta t$ : incremento en temperatura, (*°F*)

Go: gravedad específica del aceite

## 2.2 DIMENSIONAMIENTO DE TRATADORES ELECTROSTATICOS<sup>6</sup>

El dimensionamiento del Tratador es muy particular dependiendo de las características del petróleo crudo a tratar, los procedimientos de diseño para la sección de coalescencia no son de forma estándar, debido a que el fenómeno de coalescencia dentro de un campo eléctrico depende de las características particulares de la emulsión, impidiendo obtener una relación general del tamaño de la gota que precipita para ser usada en la ecuación de asentamiento.

El proceso requiere que las gotas de agua que chocan tengan un adecuado tiempo de contacto entre sí. Por consiguiente el diseño del Tratador electrostático debe tener en cuenta el tiempo de retención y la viscosidad a la cual debe ocurrir la precipitación.

La sección de entrada se debe dimensionar de tal manera que permita la separación del agua libre y el calentamiento del aceite.

La sección de coalescencia debe proveer un adecuado tiempo de retención para lograr la coalescencia entre las gotas de agua y permitir su precipitación.

Para determinar la capacidad del tratador es necesario suponer o adoptar una temperatura de tratamiento. En la siguiente tabla se presentan temperaturas promedias de tratamiento para varios tipos de emulsiones. Por lo general se parte de una temperatura inicial.

Después de seleccionar una temperatura de tratamiento se determina la densidad relativa (gravedad específica) del crudo y agua y la viscosidad del crudo a la temperatura de tratamiento.

**Tabla 4. Temperaturas promedio de tratamiento**

<b>Características de la emulsión</b>	<b>Temperatura °F</b>
<b>Emulsión fácil</b>	85-100
<b>Emulsión moderada</b>	100-110
<b>Emulsión fuerte</b>	110-135

---

<sup>6</sup> Khatib, Z I. 1996. *Dehydration of Crude Using Electrostatic Treater, Development of Design and Operating Guidelines*

### 2.2.1 Viscosidad del crudo

La viscosidad del crudo a la temperatura de tratamiento es calculada con la *Ecuación N°. 1*

$$\mu_o \approx 10^x - 1$$

Donde:

$\mu_o$ : Viscosidad del aceite, (*cp*)

T: Temperatura del aceite; ( $^{\circ}F$ )

G: Gravedad específica del aceite, ( $^{\circ}API$ )

$X = yT^{-1.163}$

$Y = 10^Z$

$Z = 3.0324 - 0.02023G$

Gráficamente se puede hallar la viscosidad del crudo empleando la *Figura N°. 3.1*.

### 2.2.2 Tamaño de las gotitas de agua

Para el cálculo de diámetro de la gota de agua se emplea la siguiente ecuación

#### **Ecuación N°. 9**

$$dm = 500 * (\mu_o)^{-0.675}$$

Donde:

dm: Diámetro de la gota de agua, (*micrones*)

$\mu_o$ : Viscosidad del aceite, (*cp*)

Esta relación se muestra en la siguiente figura 11. Es aconsejable que se use solo en ausencia de otros datos y experiencia puntuales, ya que esta correlación se basa en una limitada experiencia.

### 2.2.3 Sección de asentamiento

*Ecuación N°. 4* es empleada para realizar los cálculos en la sección de asentamiento para determinar la geometría del recipiente.

$$d_i * L_{eff} = \frac{438 * (Q_o * \mu_o)}{\Delta SG * (dm)^2}$$

Donde:

d: Diámetro del tratador, (*in*).

Qo: Tasa de flujo del crudo, (*BPD*).

$\mu_o$ : Viscosidad del crudo, (*cp*).

$L_{eff}$ : Longitud de la sección de coalescencia, (*ft*).

$\Delta SG$ : Diferencia de gravedades específicas del agua y del crudo.

$d_m$ : Diámetro de las partículas de agua en la emulsión.

#### 2.2.4 Tiempo de retención

Ecuación N° 6 es utilizada para determinar tiempo de retención

$$d_i^2 * L_{eff} = \frac{T_r Q_o}{1.05}$$

Donde:

$d_i$ : Diámetro del tratador, (*in*).

$Q_o$ : Tasa de flujo del crudo, (*BPD*).

$T_r$ : Tiempo de retención, (*min*)

$L_{eff}$ : Longitud de la sección de coalescencia, (*ft*).

Otra ecuación empleada para el cálculo del tiempo de retención es la siguiente:

#### Ecuación N° 9

$$T_r = \frac{d_i^2 * L_{eff} * 1.05}{Q_o}$$

Dónde:

$d_i$ : Diámetro del tratador, (*in*).

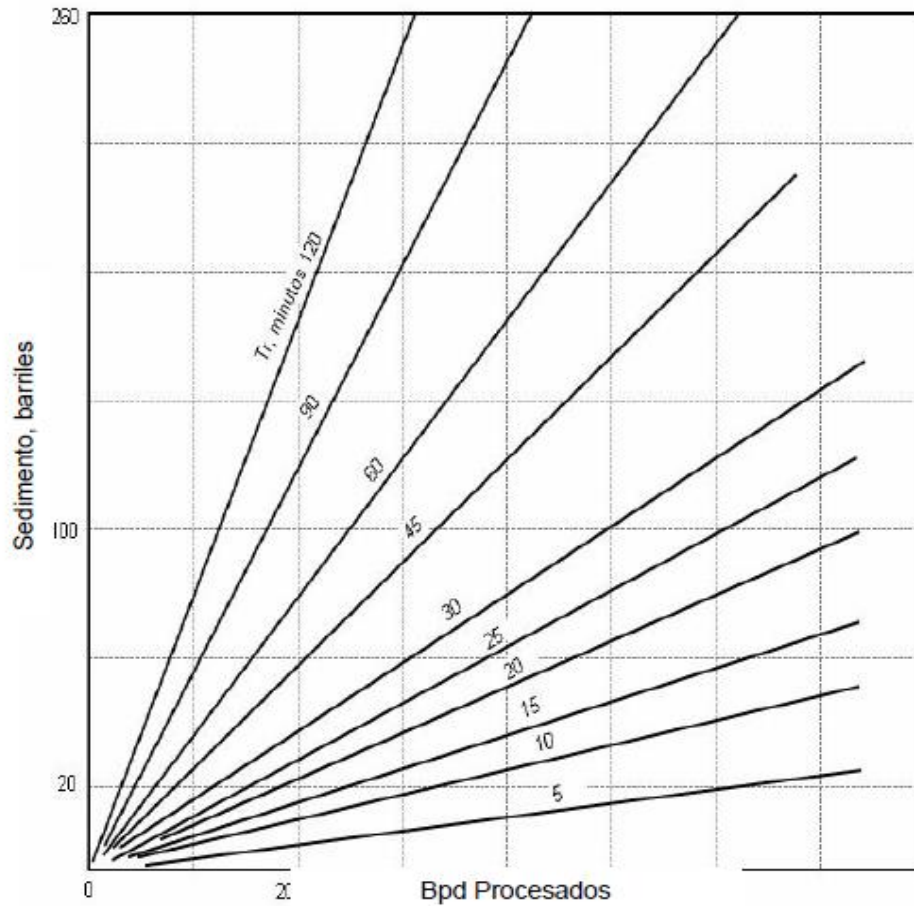
$T_r$  = tiempo de retención, (*min*)

$Q_o$  = tasa de flujo, (*BPD*)

$L_{eff}$ : Longitud de la sección de coalescencia, (*ft*).

La siguiente figura es una solución gráfica de la ecuación anterior. El tiempo de retención recomendado en tratadores es de 1 a 2 horas

Figura 12. Tiempo de Retención



Fuente: Capacitación y Consultorías Ltda.

Después de dimensionar el sistema por el procedimiento descrito es bueno verificar el tiempo de retención para los fluidos en el tratador para observar si está dentro del rango recomendado.

En el tratador electrostático la capacidad de crudo se puede también determinar por el área del sistema de parrillas. Un sistema de corriente directa puede manejar 50 barriles de crudo y emulsión por pie<sup>2</sup> por día, típico para diferentes fabricantes, mientras que un sistema AC/DC puede manejar hasta 75 Bls/ft<sup>2</sup>/día.

#### 2.2.5 Velocidad de flujo en las parrillas para cada tipo de corriente

Ecuación para determinar velocidad de flujo de las parrillas

### Ecuación N°. 10<sup>7</sup>

$$v = \frac{Q_o}{A} = C \left( \frac{\Delta\rho}{\mu_o} \right)^{0.6}$$

Donde:

V: Velocidad del flujo de las parrillas, (m/s).

Qo: Tasa de flujo de aceite, (m<sup>3</sup>/s).

A: Área optima de las parrillas, (m<sup>2</sup>).

C: Constante que depende del tipo de corriente.

$\Delta\rho$ : Diferencia de densidad entre el agua y el aceite, (Kg/m<sup>3</sup>).

$\mu_o$ : Viscosidad del crudo, (Pa\*s).

Tabla 5. Tipo de corriente, constante "C"

TIPO DE CORRIENTE	CONSTANTE
Constante C para corriente Directa	18.5 * 10 <sup>-6</sup>
Constante C para corriente Alterna	23 * 10 <sup>-6</sup>
Constante C para sistema AC/DC	28 10 <sup>-6</sup>

#### 2.2.6 Área optima de las parrillas

### Ecuación N°. 11<sup>7</sup>

$$A = \frac{Q_o}{v}$$

Dónde:

A: Área optima de las parrillas, (m<sup>2</sup>).

Qo = Tasa de flujo de aceite, (m<sup>3</sup>/s)

v = Velocidad de flujo, (m/s)

<sup>7</sup> Granados, P. Gutiérrez, N. 2007 Definición de estándares operativos para tratadores térmicos y termoelectrostáticos en facilidades de producción.



## CAPITULO III

### 3 PARÁMETROS DE COMPARACIÓN ENTRE TRATADORES TÉRMICOS Y ELECTROSTÁTICOS<sup>8</sup>

En la selección de un tratador óptimo para un crudo específico, deben considerarse una serie de factores para la determinación del método de tratamiento deseable, estos son:

- ✓ Contenido de agua y sedimentos en el crudo (*BS&W*).
- ✓ Contenido de sal.
- ✓ *API*.
- ✓ Gravedad específica del crudo.
- ✓ Volúmenes de fluidos a tratar.
- ✓ Tendencias a la depositación de sólidos.

Para la selección; el porcentaje de *BS&W* mayor del 1% requiere el uso de un tratador electrostático debido a que la emulsión posee mayor grado de estabilidad lo que impide que las gotas de agua se acerquen lo suficiente como para que las fuerzas intermoleculares de atracción del sistema agua-agua tengan la suficiente fuerza para poder aglutinarse.

Cuando el porcentaje de *BS&W* es menor del 1% se analiza el contenido de sal debido a que la desalinización se relaciona con la extracción de las partículas estabilizadoras, así pues si el contenido de sal es mayor de 50 Lbs/MBIs se debe seleccionar un tratador electrostático, ya que este cuenta con un campo eléctrico que es una herramienta muy poderosa para romper la resistencia de las películas estabilizadoras.

Por el contrario cuando el contenido de sal es menor de 50 Lbs/MBIs se debe analizar la gravedad *API* ya que a menor gravedad, la viscosidad del petróleo es mayor; un petróleo con alta viscosidad es decir, que fluye lentamente, mantendrá en suspensión gotas mucho más grandes que otro de viscosidad baja, por mantener gotas más grandes y por ser más lenta la velocidad con que se precipitan, un petróleo de viscosidad alta requiere más tiempo para que las gotas de agua puedan unirse y se precipiten, por lo tanto entre más alta sea la viscosidad más estable será la emulsión, de ahí cuando la gravedad *API* sea menor de 20° el tratador que se debe seleccionar debe ser electrostático, de lo contrario se seleccionará un tratador térmico.

Si la selección es un tratador térmico procedemos a analizar si este va a ser horizontal o vertical, para llevar a cabo esta selección se parte del volumen de líquido a tratar. Si este volumen es mayor de 2500 BPD el tratador siempre debe

---

<sup>8</sup> Khatib, Z I. 1996. *Dehydration of Crude Using Electrostatic Treater, Development of Design and Operating Guidelines*

ser horizontal, ya que diseñar un tratador vertical para altos volúmenes de fluido genera un sobredimensionamiento en su altura y como consecuencia no sería viable su fabricación e instalación.

Por el contrario si el volumen de fluido es menor de 2500 BPD se analiza la tendencia a la depositación de sólidos teniendo en cuenta que las partículas sólidas tales como arena, escama, productos de corrosión se depositarán en la parte inferior de estos equipos, provocando taponamiento en las corrientes de alimentación e interferencia en los controles de nivel, así mismo incrementándose el crecimiento bacteriano y la velocidad de corrosión, disminuyendo la eficiencia del tratador.

Por estas razones cuando la tendencia a la depositación de sólidos sea mayor del 2% se debe seleccionar un tratador vertical ya que la velocidad de asentamiento gravitacional será mayor y la instalación de un sistema de lavado de sólidos será más eficiente.

### 3.1 Ventajas y desventajas de los tratadores térmicos

#### **Ventajas**

- ✓ Reduce la viscosidad de la fase continua: un incremento en la temperatura de 10°F baja la viscosidad de la emulsión en un factor de 2.
- ✓ Incrementa el movimiento de gotas entre la salmuera y el crudo.
- ✓ Promueve una mejor distribución del desemulsionante.
- ✓ Disuelve las parafinas cristalizadas que le dan estabilidad a las emulsiones.
- ✓ Debilita la película de emulsionante que rodea a las gotas de agua.

#### **Desventajas**

- ✓ Provoca la migración de los compuestos más volátiles del crudo hacia la fase gas, esta pérdida de livianos ocasiona una disminución de volumen del crudo calentado y una disminución en su gravedad API.
- ✓ Incrementa los costos de combustible.
- ✓ Incrementa los riesgos en las instalaciones.
- ✓ Requieren mayor instrumentación y control.
- ✓ Causa depósitos de coke.

### 3.2 Ventajas y desventajas de los tratadores electrostáticos

#### **Ventajas**

- ✓ Son menos afectados en su operación por las características de los crudos (densidad, viscosidad), agua o agentes emulsionantes.

- ✓ Ofrecen mayor flexibilidad y son de menor dimensión.
- ✓ El tiempo de residencia asociado es relativamente corto.
- ✓ Con el tratamiento electrostático se obtiene una mejor calidad del agua separada y una mayor flexibilidad en cuanto a las fluctuaciones o variaciones en los volúmenes de producción.
- ✓ Requiere vasijas de menor tamaño, bajos tiempos de retención (Ideales para plataformas marinas).
- ✓ Requiere menos reactivos químicos (25 a 75 % de ahorro).
- ✓ Requiere menos calor (Rompimiento de la emulsión a bajas temperaturas).
- ✓ Mantiene el volumen y °API del aceite tratado (no hay evaporación alta).
- ✓ Prácticamente no requiere mantenimiento.
- ✓ Mejor control de contaminantes en el agua de desecho.
- ✓ Remueven grandes cantidades de agua.
- ✓ La emulsión puede ser rota a valores de temperatura muy por debajo de las temperaturas manejadas en otros equipos de separación.
- ✓ Las variables de operación pueden ser controladas por sistemas automatizados como el sistema SCADA.

### **Desventajas**

- ✓ Gastos por consumo de energía.
- ✓ El nivel de agua libre es una variable difícil de controlar (Corto circuito).
- ✓ Instalación de sistemas de control más sofisticados, lo que incide tanto en los costos de operación como de inversión.
- ✓ Instalación de sistemas de carga para un mayor control de flujo al equipo, ya que necesitan para su operación condiciones de flujo estables y controladas.
- ✓ Los dispositivos del equipo podrían ser afectados por los cambios en las propiedades conductoras de los fluidos de alimentación, cuando se incrementa el agua, la salinidad y la presencia de sólidos.
- ✓ Requerimiento de supervisión constante en su operación

Tabla 6. Cuadro resumen de parámetros de comparación

PARÁMETRO	TRATADOR TÉRMICO	TRATADOR ELECTROSTÁTICO
<b>% BS&amp;W</b>		Usar cuando % BS&W >1%.
<b>Contenido de sal</b>		Usar cuando Cont.sal > 50 Lbs/MBIs.
<b>Gravedad API</b>	Usar cuando API >20°	Usar cuando API < 20°
<b>Volumen de fluido</b>	Q>2500 BPD usar Tratador Térmico Horizontal.	
<b>Deposición de solidos</b>	Dep.sol >2% usar Tratador Térmico Vertical.	
<b>Eficiencia de deshidratación</b>	Eficiente	Eficiente
<b>Tipo de operación</b>	Sencilla	Sencilla
<b>Control de corrosión</b>	Necesario	Necesario
<b>Consumo de combustible</b>	Alto	Ninguno
<b>Consumo de Químicos</b>	Medio	Bajo
<b>Consumo de energía</b>	Ninguno	Alto
<b>Sistema contra incendio</b>	Sencillo	Sencillo
<b>Tamaño del recipiente</b>	Mediano	Pequeño
<b>Riesgos en instalaciones</b>	Altos	Medio
<b>Tiempo de retención</b>	Medio	Corto
<b>Tiempo de instalación</b>	Medio	Corto
<b>Temperaturas de trabajo</b>	Altas	Bajas
<b>Evaporación de volátiles</b>	Alta	Baja
<b>Mantenimiento</b>	Frecuente	Poco frecuente
<b>Costo de operación</b>	Medio	Alto
<b>Vida útil</b>	15 años	15 Años

## CAPITULO IV

### 4 DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE

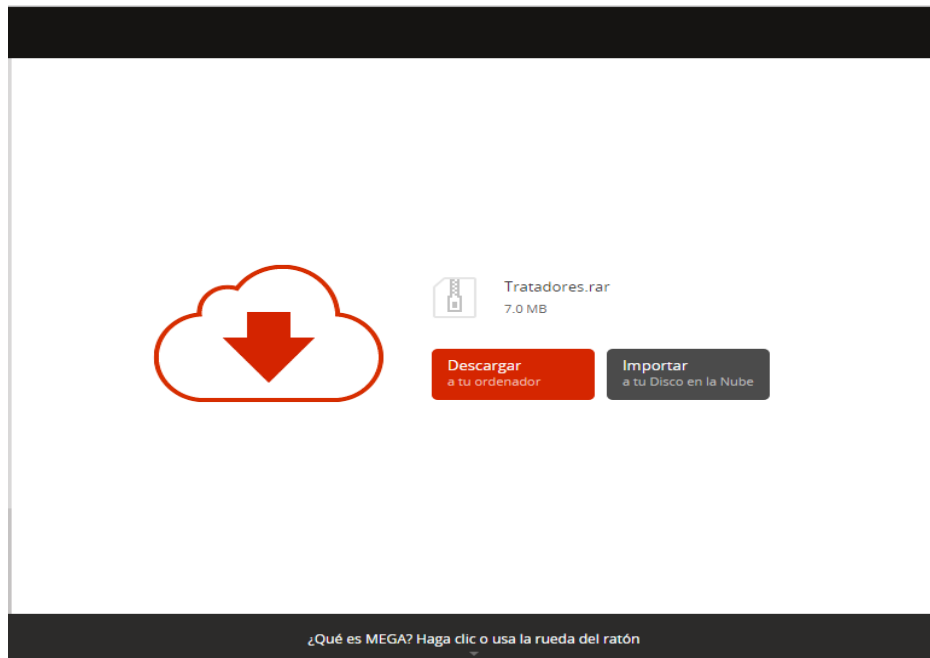
#### 4.1 ALCANCE DE LA HERRAMIENTA

El desarrollo del software tiene como objetivo principal servir como herramienta didáctica, dirigida a estudiantes con interés de aprendizaje en el área de Manejo de producción, más específicamente en el dimensionamiento de tratadores.

Esta herramienta software busca efectuar el proceso de dimensionamiento de tratadores térmicos y electrostáticos, ya que en el momento no hay un software educativo que permita interactuar de forma rápida ingresando datos de producción y caracterización del crudo; establecerá las respectivas configuraciones seleccionando térmico o electrostático, vertical u horizontal; así mismo, la herramienta permitirá realizar una comparación entre la configuración arrojada al realizar el dimensionamiento por el método de ecuaciones y por el método gráfico; estableciendo de esta manera la efectividad del software.

#### 4.2 Acceso a la herramienta

Para acceder a la aplicación podemos ingresar a la página <https://mega.co.nz/#!VolGARpQ!QcZTBIZH89NKpj35IAtp1Ne1GVijvK4UsVx3wzSoYU>, donde aparecerá la presentación mostrada en la *figura 13*.



**Figura 13. Acceso al software**

Como se puede apreciar el usuario tiene con la oportunidad de descargar la aplicación en su ordenador, haciendo de esta manera que la herramienta tenga un fácil acceso por parte de quien esté interesado en manipularla.

#### 4.2.1 Definición del problema

Enmarcar el problema, un primer paso necesario. En general y fundamentalmente cuando los conocimientos sobre determinado problema a investigar son amplios es necesario un claro planteo del problema, que permita caracterizar aquello que se espera estudiar en forma concreta.

Esta herramienta software tiene como objeto el dimensionamiento de tratadores térmico y electrostático a partir de una rápida y sencilla ejecución obteniendo datos de salida confiables.

#### 4.2.2 Parámetros y restricciones del problema

Los parámetros y restricciones están basados bajo la norma API 12L y bajo los conceptos teóricos del libro de Arnold, Ken and Steward, Maurice.

Se recomienda al usuario revisar estos conceptos con el fin de hacer un buen uso del software.

#### 4.2.3 Herramientas físicas – matemáticas

Las herramientas físicas – matemáticas están orientadas a la programación computacional con los conceptos de ingeniería de producción y/o operaciones incluyendo los parámetros establecidos a manejar como las propiedades de los fluidos y condiciones operacionales.

#### 4.2.4 Lenguaje de programación

Un lenguaje de programación es un lenguaje formal diseñado para expresar procesos que pueden ser llevados a cabo por máquinas como las computadoras.

Pueden usarse para crear programas que controlen el comportamiento físico y lógico de una máquina, para expresar algoritmos con precisión, o como modo de comunicación humana.

Está formado por un conjunto de símbolos y reglas sintácticas y semánticas que definen su estructura y el significado de sus elementos y expresiones. Al proceso por el cual se escribe, se prueba, se depura, se compila (de ser necesario) y se mantiene el código fuente de un programa informático se le llama programación.

La palabra programación se define como el proceso de creación de un programa de computadora, mediante la aplicación de procedimientos lógicos, a través de los siguientes pasos:

- ✓ El desarrollo lógico del programa para resolver un problema en particular.
- ✓ Escritura de la lógica del programa empleando un lenguaje de programación específico (codificación del programa).
- ✓ Ensamblaje o compilación del programa hasta convertirlo en lenguaje de máquina.
- ✓ Prueba y depuración del programa.
- ✓ Desarrollo de la documentación.

El presente trabajo utiliza como lenguaje de programación **Microsoft Visual Studio Express 2012**; Herramienta sencilla y flexible para la creación de programas o software de Windows.

#### 4.2.4.1 Microsoft Visual Studio Express

##### **Versión: 2012**



Microsoft Visual Studio Express Edition es un programa de desarrollo en entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) para sistemas operativos Windows desarrollado y distribuido por Microsoft Corporation. Soporta

varios lenguajes de programación tales como Visual C++, Visual C#, Visual J#, ASP.NET y Visual Basic .NET, aunque actualmente se han desarrollado las extensiones necesarias para muchos otros. Es de carácter gratuito y es proporcionado por la compañía Microsoft Corporation orientándose a principiantes, estudiantes y aficionados de la programación web y de aplicaciones, ofreciéndose dicha aplicación a partir de la versión 2005 de Microsoft Visual Studio.

Visual Studio express permite a los desarrolladores crear aplicaciones, sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET (a partir de la versión .net 2002, se incorpora la versión Framework 3.5, Framework 4.0 y Framework 4.5 para las ediciones 2005, 2008, 2010 y 2012). Así se pueden crear aplicaciones que se intercomunican entre estaciones de trabajo, páginas web y dispositivos móviles. Cabe destacar que estas ediciones son iguales al entorno de desarrollo comercial de Visual Studio Professional pero sin características avanzadas.

Las ediciones que hay son:

- ✓ Visual Studio 2013 **Express for Web**
- ✓ Visual Studio 2013 **Express for Windows**
- ✓ Visual Studio 2013 **Express for Windows Desktop**

## Características:

1. Desarrollo innovador de aplicaciones
2. Gestión moderna del ciclo de vida de las aplicaciones
3. Posee herramientas para una planificación y gestión de proyectos ágil, que mantienen a los equipos alineados e informados.
4. También tiene herramientas y flujos de trabajo para romper las barreras en la integración funcional y de equipos de trabajo

### 4.2.4.2 *sistema operativo compatible*

El lenguaje de programación Microsoft Visual Studio Express 2012 tiene como sistemas operativos compatibles los siguientes:

- ✓ Windows 7 Service Pack 1
- ✓ Windows 8
- ✓ Windows Server 2008 R2 SP1
- ✓ Windows Server 2012
- ✓ Windows 7 SP1 (x86 y x64)
- ✓ Windows 8 (x86 y x64)
- ✓ Windows Server 2008 R2 SP1 (x64)
- ✓ Windows Server 2012 (x64)

### 4.2.5 REQUERIMIENTOS DE HARDWARE

Como requerimientos mínimos para acceder a este software se encuentran:

- ✓ Procesador a 1,6 GHz o más rápido
- ✓ 1 GB de RAM (1,5 GB si se ejecuta en una máquina virtual)
- ✓ 5 GB de espacio disponible en el disco duro
- ✓ Unidad de disco duro de 5400 rpm
- ✓ Tarjeta de vídeo compatible con DirectX 9 con una resolución de pantalla de 1024 x 768 o superior

## 4.3 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

En este subcapítulo se hace una descripción detallada del funcionamiento del software para el dimensionamiento de tratadores térmicos verticales, horizontales y tratadores electrostáticos; la herramienta es de fácil acceso y manejo dado que nos indica paso a paso el procedimiento a seguir.



#### 4.4 Dimensionamiento de tratadores térmicos

Cuando se accede a la herramienta aparece la página principal del software *figura 14*, para el dimensionamiento de tratadores; los iconos inferiores permiten tener acceso según lo requerido a la guía del usuario o a la aplicación.



**Figura 14. Página Principal software**

Dando clic en el icono “*aplicación*” la herramienta permite seleccionar el tipo de tratador a dimensionar, *figura 15*.

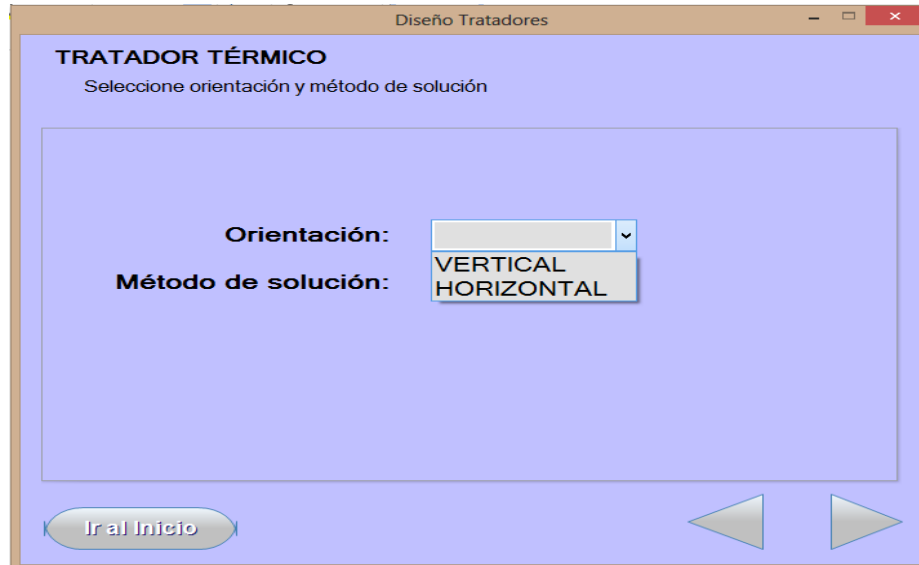


**Figura 15. Elección del Tratador a dimensionar**

Una vez seleccionado tratador térmico y dar clic en “*siguiente*”  ; está lo

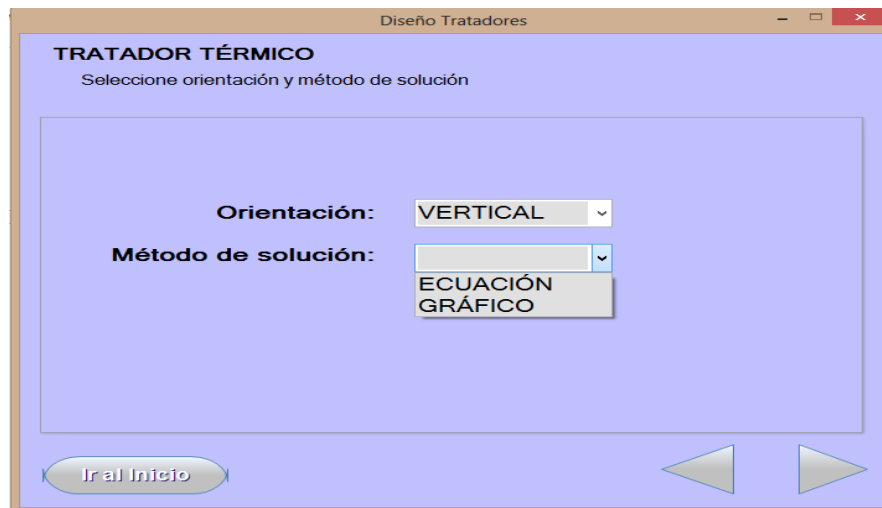
opción de elegir la orientación del tratador y el método de solución.

Al desplegar la pestaña que está frente a *orientación*, se puede elegir un tratador térmico con orientación “vertical u horizontal”, *figura 16*.



**Figura 16.** Elección de orientación del tratador

Escoja el *método de solución* a utilizar, “ecuación o grafico” .*figura 17*.



**Figura 17.** Elección del método de solución

Una vez elegida la orientación del tratador y el método de solución; se da paso al ingreso de las temperaturas de tratamiento.

La herramienta software deja a consideración del usuario el número de datos de temperaturas de tratamiento a ingresar; eligiendo mínimo un dato y máximo cinco datos de temperatura.

El ingreso manual de la temperatura está acompañado del mensaje “adicionar un valor entre (90 – 150)”. figura 18.

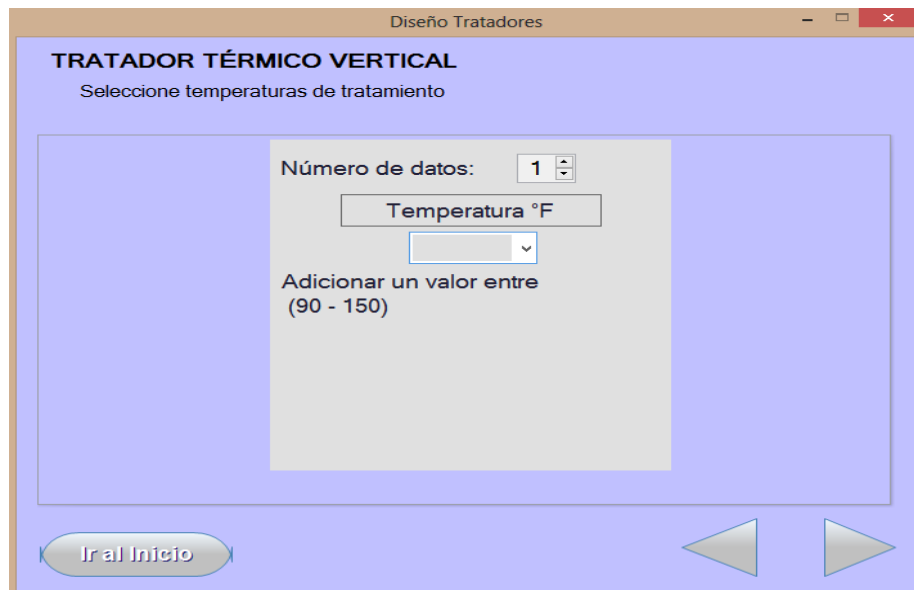


Figura 18.Ingreso manual de temperatura

Cada casilla de temperatura permite desplegar y elegir un valor que este dentro del rango anteriormente mencionado, (90 – 150). figura 19.

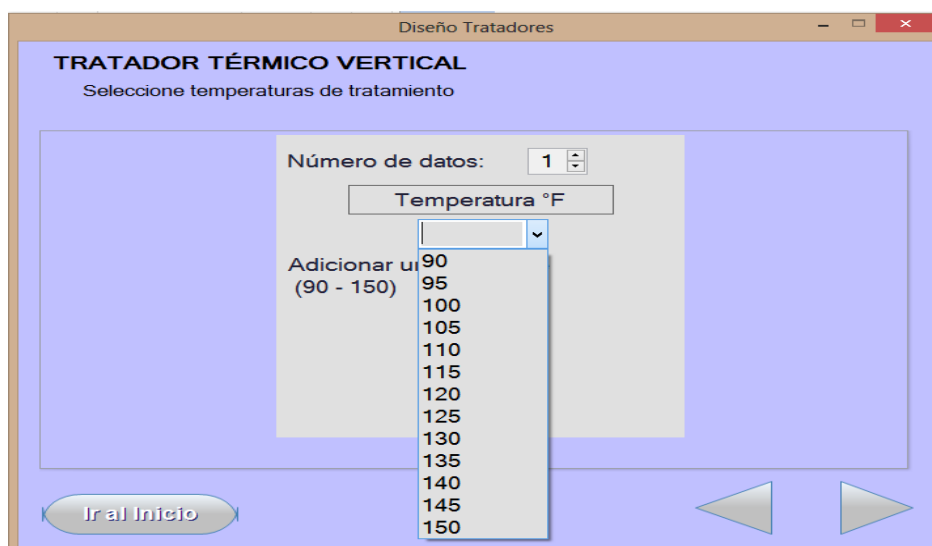


Figura 19.Elección de temperatura

Cuando se seleccione más de un número de datos, estos no deben ser iguales, de serlo aparecerá el anuncio “no se permiten temperaturas con el mismo valor”. *figura 20.*



**Figura 20.**Selección de más de un dato de temperatura

La continuación del procedimiento se verá afectada ante la presencia de un dato en rojo, el cual indica que se está trabajando por fuera del rango y generará automáticamente el anuncio “temperatura fuera de rango”. *figura 21.*



**Figura 21.**Corrección del dato de temperatura

El paso a seguir una vez se tenga(n) seleccionada(s) la(s) temperatura(s) de tratamiento es el ingreso de los datos de entrada, el cual es asistido de manera que los valores digitados sean los apropiados y se encuentren dentro de los rangos establecidos, el conocimiento de cada uno de ellos será posible a medida que se realice el ingreso manual de la información solicitada. El software generara el mensaje “adicionar un valor entre (10 – 40)” como caso ilustrativo si el valor que se va a adicionar es el de la gravedad del crudo API. *figura 22.*

Los parámetros: gravedad del crudo API y gravedad específica del crudo “SG” están relacionados internamente de manera tal que el valor de uno de ellos se puede calcular a partir del conocimiento del otro. De esta manera conociendo el valor de gravedad del crudo API, el software calcula internamente el valor de gravedad específica del crudo “SG” haciendo uso de la ecuación:

$$SG = \frac{141.5}{API + 131.5}$$

De igual manera si el valor que se conoce es la gravedad específica del crudo “SG”, se obtendrá la correspondiente gravedad del crudo API, ésta a partir de la ecuación.

$$API = \frac{141.5}{SG} - 131.5$$

**Figura 22. Ingreso datos de entrada**

Ante la presencia de algún valor en rojo la herramienta arrojara inmediatamente un mensaje solicitando la debida corrección. *figura 23.*

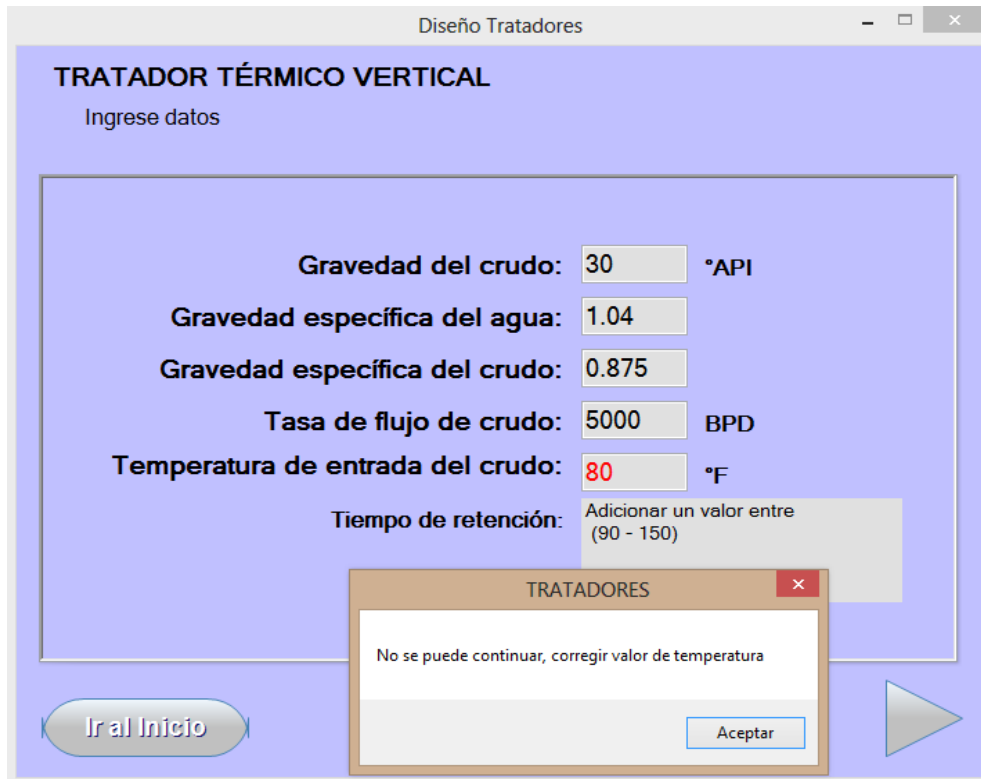


Figura 23. Corrección datos de entrada

Una vez adicionada la data de entrada siguiendo los lineamientos establecidos se obtienen los datos de salida del tratador recomendado.

Dentro de estos datos están: diámetro interno “Di”; altura de la sección de coalescencia “h” si es tratador térmico vertical o longitud de la sección de coalescencia “Leff” si se trata de un tratador térmico horizontal; temperatura de tratamiento recomendada “T” y calor requerido para cada una de las temperaturas ingresadas. *Figura 24.*

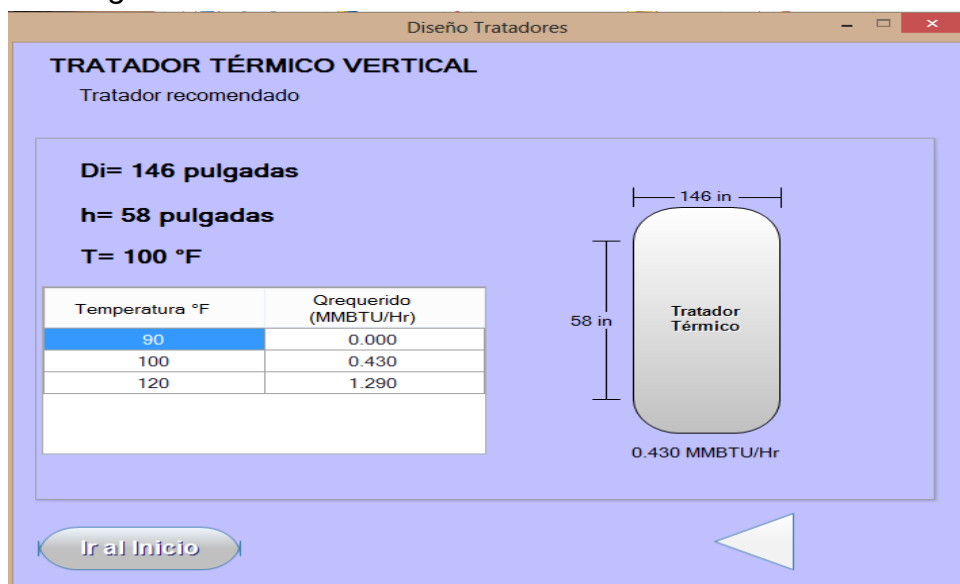


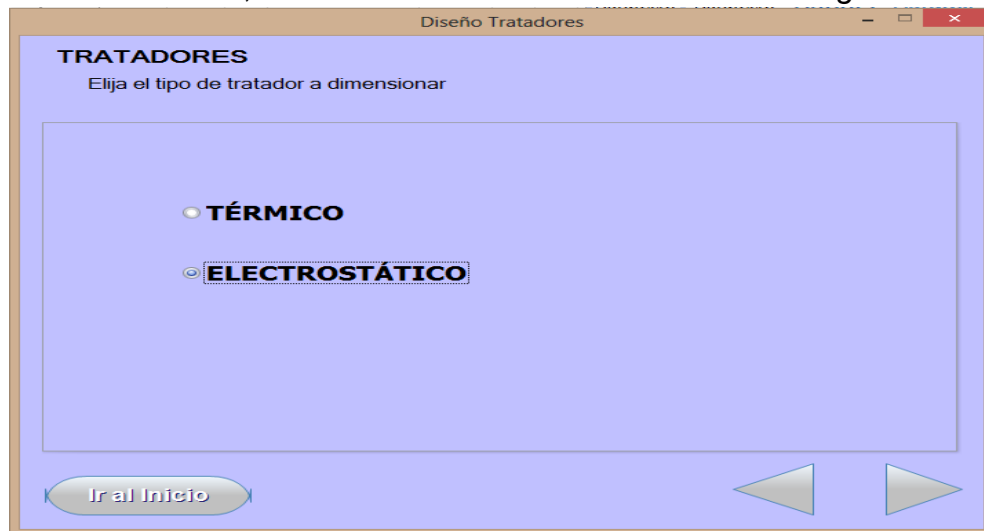
Figura 24. Datos de salida

Para conocer el procedimiento que realiza internamente el software, remítase a los anexos N° 1.1,1.2,1.3 o 1.4,según lo requiera.


#### 4.5 Dimensionamiento de tratadores electrostáticos

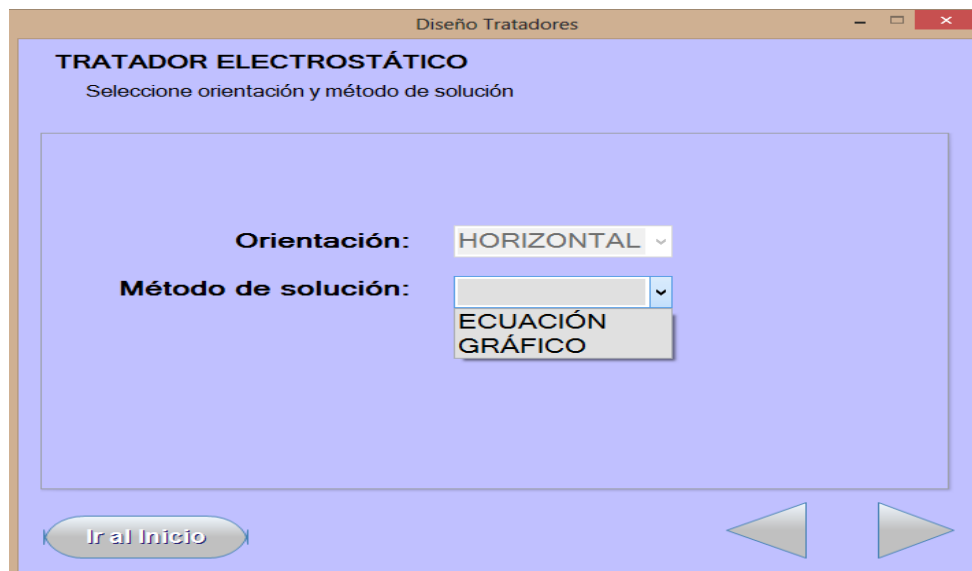
Cuando se accede a la herramienta aparece la página principal del software, *figura 14*, para el dimensionamiento de tratadores; los iconos inferiores permiten tener acceso según lo requerido a la guía del usuario o a la aplicación.

Dando clic en el icono “*aplicación*” la herramienta permite seleccionar el tipo de tratador a dimensionar, en esta ocasión tratador electrostático. *figura 25*.



**Figura 25.Elección del Tratador Electrostático**

Una vez seleccionado tratador electrostático y dar clic en “*siguiente*”  ; se deberá elegir el método de solución a utilizar ya sea “ecuación o grafico”. La orientación a trabajar es un dato fijo, siempre será “horizontal”. *figura 26*.

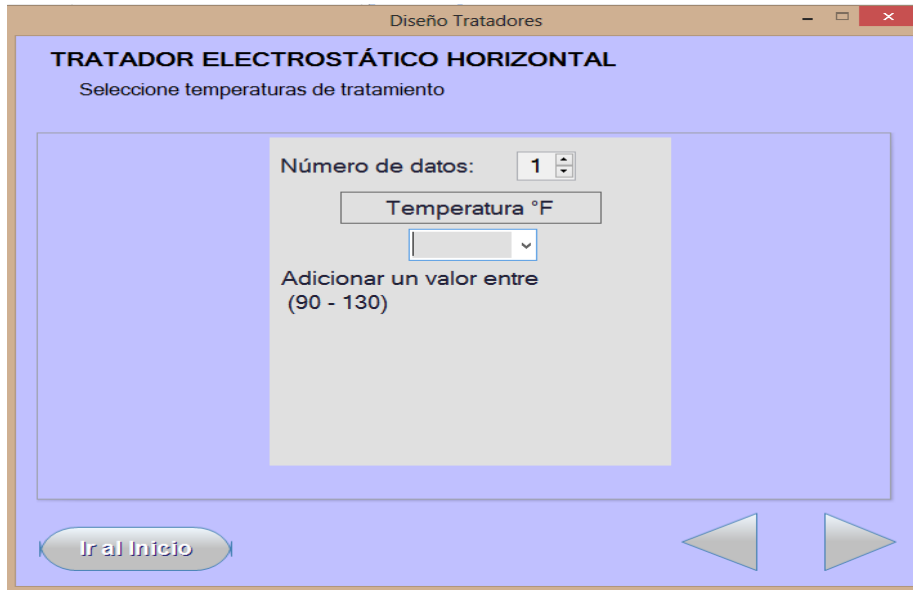


**Figura 26.Selección del método de Solución**

Una vez elegido el método de solución; se da paso al ingreso de las temperaturas de tratamiento.

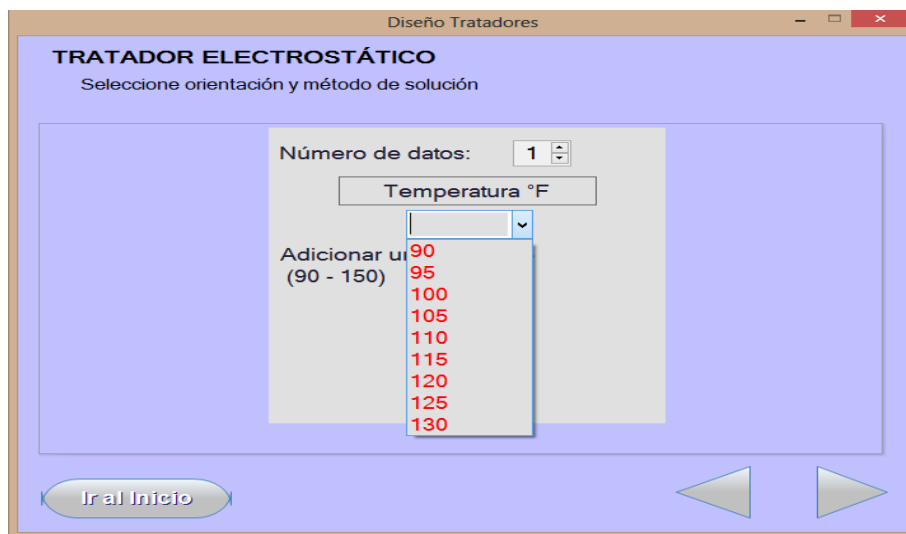
La herramienta software deja a consideración del usuario el número de datos de temperaturas de tratamiento a ingresar; eligiendo mínimo un dato y máximo cinco datos de temperatura.

El ingreso manual de la temperatura está acompañado del mensaje “adicionar un valor entre (90 – 130)”. *Figura 27.*



**Figura 27. Ingreso manual de la temperatura**

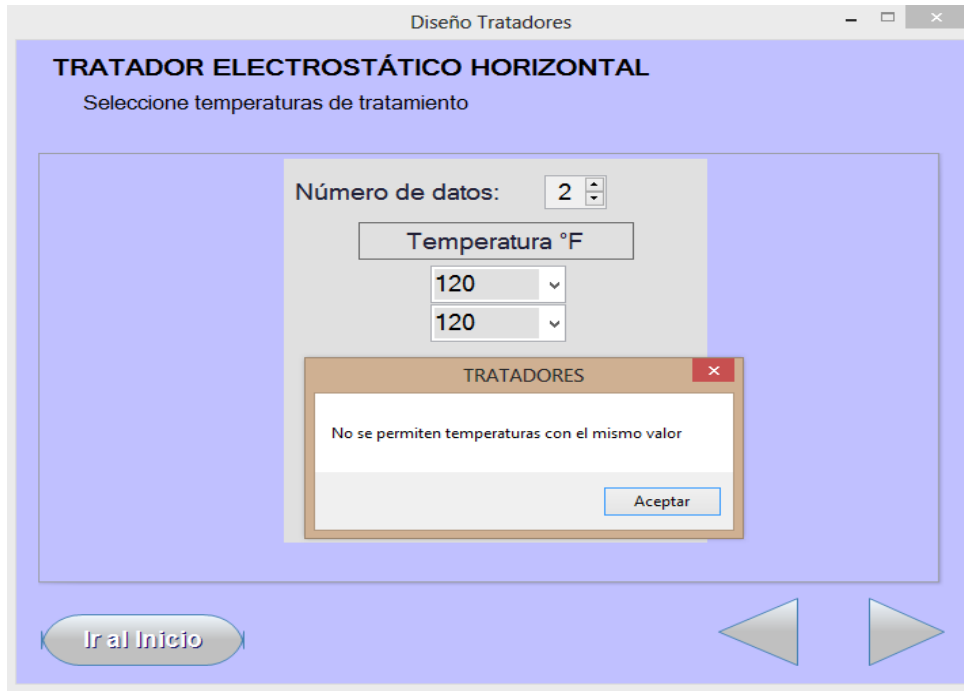
Cada casilla de temperatura permite desplegar y elegir un valor que este dentro del rango anteriormente mencionado, (90 – 130). *figura 28.*



**Figura 28. Elección de temperatura**



Cuando se seleccione más de un número de datos, estos no deben ser iguales, de serlo aparecerá el anuncio “seleccione temperaturas diferentes”. *figura 29.*



**Figura 29.**Selección de más de un dato de temperatura

La continuación del procedimiento se verá afectada ante la presencia de un dato en rojo, el cual indica que se está trabajando por fuera del rango y generará automáticamente el anuncio “corregir dato de temperatura”. *figura 30.*



**Figura 30.**Corrección del dato de temperatura

El paso a seguir una vez se tenga(n) seleccionada(s) la(s) temperatura(s) de tratamiento es el ingreso de los datos de entrada, el cual es asistido de manera que los valores digitados sean los apropiados y se encuentren dentro de los rangos establecidos, el conocimiento de cada uno de ellos será posible a medida que se realice el ingreso manual de la información solicitada. El software generara el mensaje “adicionar un valor entre (0.9 – 1.1)” como caso ilustrativo si el valor que se va a adicionar es el de la gravedad especifica del agua. *figura 31.*

Los parámetros: gravedad del crudo API y gravedad específica del crudo “SG” están relacionados internamente de manera tal que el valor de uno de ellos se puede calcular a partir del conocimiento del otro.

De esta manera conociendo el valor de gravedad del crudo API, el software calcula internamente el valor de gravedad específica del crudo “SG” haciendo uso de la ecuación:

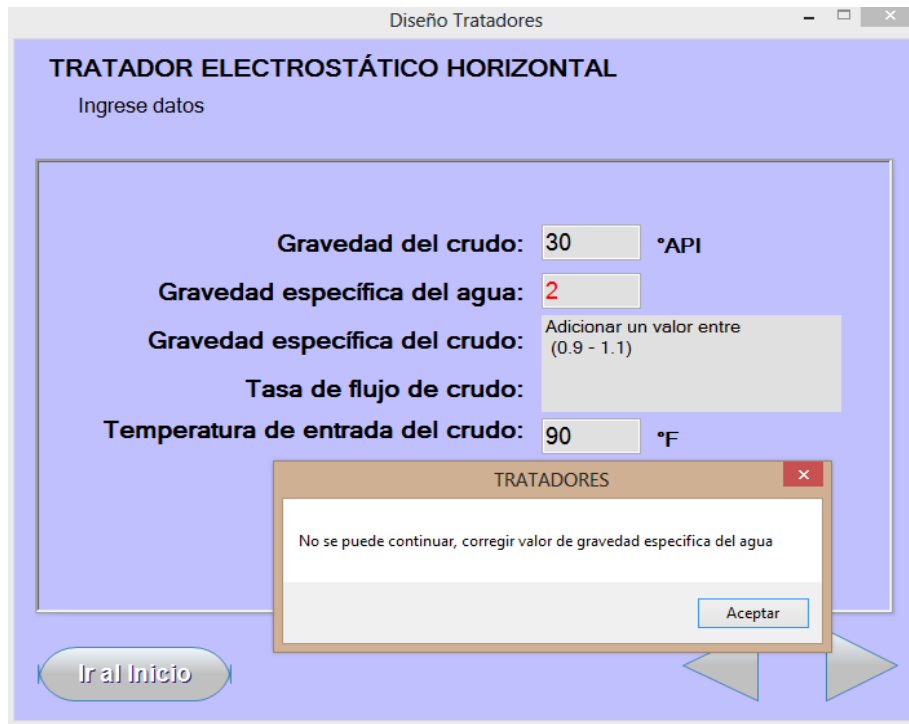
$$SG = \frac{141.5}{API + 131.5}$$

De igual manera si el valor que se conoce es la gravedad específica del crudo “SG”, se obtendrá la correspondiente gravedad del crudo API, ésta a partir de la ecuación:

$$API = \frac{141.5}{SG} - 131.5$$

**Figura 31. Ingreso datos de entrada**

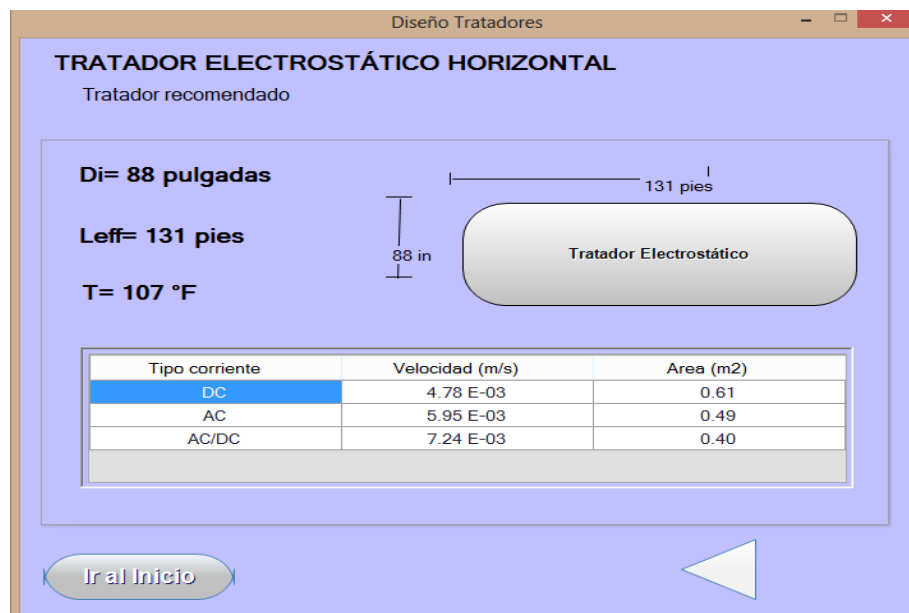
Ante la presencia de algún valor en rojo la herramienta arrojará inmediatamente un mensaje solicitando la debida corrección. *figura 32.*



**Figura 32. Corrección datos de entrada**

Una vez adicionada la data de entrada siguiendo los lineamientos establecidos se obtienen los datos de salida del tratador recomendado.

Dentro de estos datos están: diámetro interno “Di”; longitud de la sección de coalescencia “Leff”; temperatura de tratamiento recomendada “T”; velocidad de flujo en las parrillas y el área de las parrillas de acuerdo al tipo de corriente .*figura 33.*



**Figura 33. Solución para Tratador Electrostático**

Para conocer el procedimiento que realiza internamente el software, remítase al anexo N° 1.5 o anexo N° 1.6, según lo requiera.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Se obtuvo una herramienta software valiosa que utiliza como lenguaje de programación Microsoft Visual Studio Express 2012 para el dimensionamiento de tratadores térmicos verticales, horizontales y electrostáticos; fundamentándose en el trabajo realizado por *Arnold, K. Stewart, M. (1989). Surface Production Operation, Design of Oil-Handling Systems and Facilities. Vol 1. Second edition* y siguiendo los lineamientos establecidos en la norma API 12L, en la cual se recopilan los códigos, especificaciones y prácticas recomendadas de la industria.
- ✓ El procedimiento de dimensionamiento no da las dimensiones totales del tratador, las cuales pueden incluir secciones de separación de gas y de agua libre. Sin embargo este puede dar un método para la especificación de capacidad de los quemadores y el tamaño mínimo de la sección de coalescencia y proveer al ingeniero las herramientas necesarias para evaluar propuestas específicas del vendedor.
- ✓ El procedimiento de dimensionamiento da al ingeniero la facultad de escoger los mejores parámetros de diseño para tratadores térmicos y electrostáticos cuando se dispone de pocos o ningún dato de laboratorio.
- ✓ Se logra crear una herramienta práctica que sea de gran apoyo para la comunidad educativa más aun para los estudiantes de ingeniería de petróleos; ya que facilita interactuar con los conocimientos teóricos adquiridos en la universidad y posteriormente poner en práctica en el área de ingeniería de producción y operaciones.
- ✓ El algoritmo desarrollado en este software permite calcular las dimensiones necesarias para tratadores térmicos y electrostáticos, basados en los parámetros de entrada y en las temperaturas de tratamiento dadas para trabajar.
- ✓ El lenguaje de programación utilizado fue el apropiado, ya que Microsoft Visual Studio Express 2012 es un lenguaje sencillo y por ende fácil de aprender, el cual no presentará mayores dificultades para los usuarios con conocimientos básicos de programación.
- ✓ Se recomienda el desarrollo de una herramienta software para el diseño mecánico de tratadores térmicos verticales, horizontales y electrostáticos, considerando condiciones de operación y diseño como: volumen, temperatura, presión, corrosión permisible, material, tipo de lámina, espesor, costura, etc.

- ✓ Se recomienda que el personal que utilice el software de dimensionamiento de tratadores térmicos y electrostáticos, tenga algún conocimiento de la norma API 12L, de los criterios de dimensionamiento especificados en el libro *Arnold, K. Stewart, M. (1989). Surface Production Operation, Design of Oil-Handling Systems and Facilities. Vol 1. Second edition* o revise el presente proyecto.

## **Bibliografía**

- Arnold, K. Stewart, M. (1989). *Surface Production Operation, Design of Oil-Handling Systems and Facilities*. Vol 1. Second edition .
- Gary, S. Wallace, H. (2001). *Improving Process Efficiencies by Optimizing Fluid Hydraulics in Electrostatic Oil Dehydrators*. OTC 13216.
- Granados, P. Gutierrez, N. (2007). *Definición de estándares operativos para tratadores térmicos y termoelectrostáticos en facilidades de producción*.
- Institute, A. P. (2008). *Norma API 12L. Specification for Vertical and Horizontal Emulsion Treater*. Fifth Edition .
- Khatib, Z. I. (1996). *Dehydration of Crude Using Electrostatic Treater, Development of Design and Operating Guidelines*.
- Mancilla, O. (2008). *Estudio del sistema eléctrico del tratador térmico-electrostático en la isla VI del campo Cantagallo*.
- Marfisi, S. Shirley, L. (2004). *Deshidratación de crudo-Principios y tecnología*. Cuaderno FIRP N°853PP.
- Sivalls, R. (1979). *Crude oil treating systems design manual*.
- Velazco, E. (2013). *Simulación y dimensionamiento de equipos de proceso para la deshidratación de petróleo en facilidades de producción*. Universidad Central de Ecuador: Facultad de Ingeniería ciencias físicas y matemáticas.
- Walsh, J. (2012). *Field Implementation of New Electrostatic Treating Technology*. OTC 23200.

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### EJERCICIOS PARA DIMENSIONAMIENTO DE TRATADORES TÉRMICOS Y ELECTROSTÁTICOS

**1.1 EJERCICIO N°. 1** Dimensionamiento de un tratador térmico vertical a partir del uso de ecuaciones

##### Datos de entrada:

Gravedad del crudo = 40 °API  
Gravedad específica del agua = 1.04  
Gravedad específica del crudo = 0.825  
Tasa de flujo de crudo = 2.000 BPD  
Temperatura de entrada del crudo = 90 °F

##### Solución

El dimensionamiento se realiza para las temperaturas de 90°F, 100°F y 120°F

##### Muestra de cálculo para Temperatura de 120 °F

###### 1.1.1. Calculo de la viscosidad

$$Z = 3.0324 - 0.02023 * (G)$$

$$Z = 3.0324 - 0.02023 * (40)$$

$$Z = 2.2232$$

$$Y = 10^Z$$

$$Y = 10^{(2.2232)}$$

$$Y = 167.1860357$$

$$X = Y * T^{-1.163}$$

$$X = (167.1860357) * (120)^{-1.163}$$

$$X = 0.638428419$$

$$\mu_o = 10^X - 1$$
$$\mu_o = 10^{0.638428419} - 1$$
$$\mu_o = 3.3 \text{ Cp}$$

### 1.1.2. Calculo de diámetro de gotitas de agua

$$dm = 200 * (\mu_o)^{0.25}$$

$$dm = 200 * (3.3)^{0.25}$$

$$dm = 270 \text{ micrones}$$

### 1.1.3. Calculo de la sección de asentamiento

$$d_i = 81.8 * \left( \frac{(Q_o * \mu_o)}{\Delta SG * (dm)^2} \right)^{1/2}$$

$$d_i = 81.8 * \left( \frac{(2000 * 3.3)}{0.215 * (270)^2} \right)^{1/2}$$

$$d_i = 53$$

Resultados de las propiedades físicas del crudo a diferentes temperaturas

Temperatura Tratamiento (°F)	90	100	120
$\Delta SG$	0.215	0.215	0.215
$U_o$ (ecuación 1),cp	6.8	5.1	3.3
$d_m$ (ecuación 2),micrones	322	301	270
$d_i$ (ecuación 4)	63	59	53

### 1.1.4. Ecuación de tiempo de retención

Se representa gráficamente h con tiempos de retención menores de 20 minutos.

$Tr = 20$  minutos

$$di^2 * h = \frac{Tr * Q_o}{0.12}$$

$$di^2 * h = \frac{20 * 2000}{0.12}$$

$$di^2 * h = 333333.3$$

El área sombreada de la figura siguiente representa combinaciones de  $d_i$  y  $h$  con tiempos de retención menores de 20 minutos.

### 1.1.5. Calculo de calor requerido

$$q = 16 * Q_o * \Delta T * (0.5 * SG_o + 0.1)$$

$$q = 16 * 2000 * \Delta T * (0.5 * 0.825 + 0.1)$$

$$q = 16.400 * \Delta T$$

Substituyendo la temperatura de tratamiento de 90°F, 100°F y 120° F y con la temperatura inicial de 90° F hallamos los valores para q:



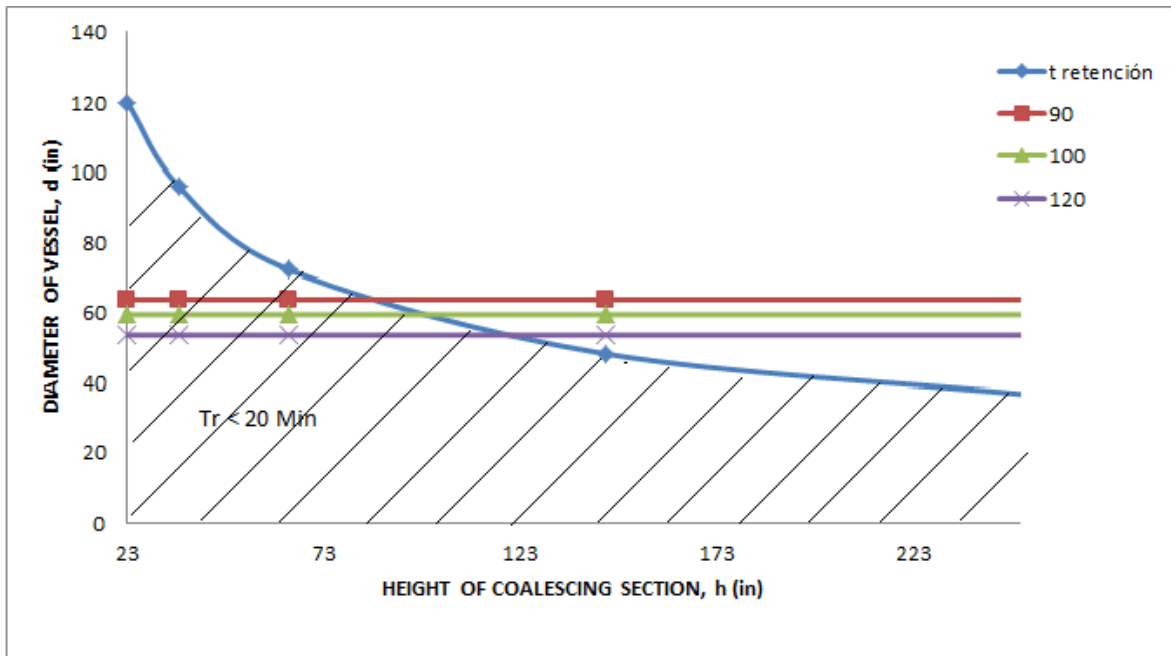
$$q_1 = 0 \text{ MM BTU/hr}$$

$$q_2 = 0,164 \text{ MM BTU/hr}$$

$$q_3 = 0,492 \text{ MM BTU/hr}$$

### Selección de las posibles soluciones

Escogemos cualquier combinación de  $d_i$  y  $h$  que no esté en el área sombreada. Lea la correspondiente temperatura de tratamiento.



### Soluciones del ejemplo

Temperatura Tratamiento (°F)	$D_i$ (pulg)	$h$ (pulg)	Calor requerido (MMBTU/h)
<b>120</b>	53	120	0.492
<b>100</b>	60	100	0.164
<b>90</b>	64	90	0

Un diseño económico podría ser 60 pulg de diámetro de tratador con 100 pulg de altura de la sección de coalescencia y  $q = 0,164$  MM BTU/h de capacidad del quemador. Se debe dar una capacidad adicional para el quemador, que permita una temperatura hasta de  $100^\circ$  F que puede ser requerida en condiciones de campo.

## 1.2. EJERCICIO N°. 2 Dimensionamiento de un tratador térmico vertical por el método grafico

Datos:

Gravedad del crudo = 40 °API

Gravedad específica del agua = 1.04

Gravedad específica del crudo = 0.825

Tasa de flujo de crudo = 2.000 BPD

Temperatura de entrada del crudo = 90 °F

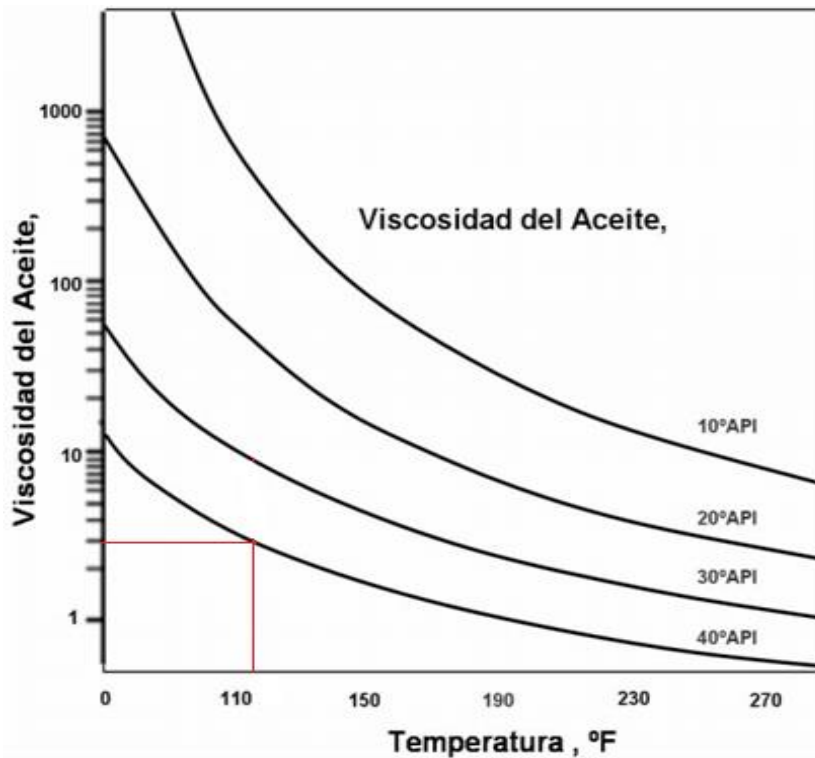
### Solución

El dimensionamiento se realiza para las temperaturas de 90°F, 100°F y 120°F

**NOTA:** Utilizar la gráfica que a continuación se relaciona para calcular la viscosidad a cada una de las temperaturas de tratamiento.

**Muestra de cálculo para temperatura de 120°F**

#### 1.2.1. Calculo de la viscosidad



la gráfica, con  $T = 120$  °F y  $G = 40$  °API tenemos:

$$\mu = 3 \text{ cp}$$

Resultados de las propiedades físicas del crudo a diferentes temperaturas

Temperatura Tratamiento (°F)	90	100	120
$\Delta SG$	0.215	0.215	0.215
$U_0$ (figura 15),cp	7.0	5.1	3.0
$D_m$ (ecuación 2),micrones	325	301	270
$D_i$ (ecuación 4)	64	59	53

El ejercicio se continúa desarrollando a partir del paso 1.1.2 por método de ecuaciones para tratadores térmicos verticales.

### 1.3. EJERCICIO N°. 3 Dimensionamiento de un tratador térmico horizontal a partir de ecuaciones

#### Datos de entrada:

Gravedad del crudo = 30 °API

Gravedad específica del agua =1.04

Gravedad específica del crudo = 0.875

Tasa de flujo de crudo = 5.000 BPD

Temperatura de entrada del crudo = 90 °F

Solución:

El dimensionamiento se realiza para las temperaturas a 90°F, 100° F y 120°F

#### Muestra de cálculo para Temperatura de 120 °F

##### 1.3.1. Calculo de la viscosidad

$$Z = 3.0324 - 0.02023 * (G)$$

$$Z = 3.0324 - 0.02023 * (30)$$

$$Z = 2.4255$$

$$Y = 10^Z$$

$$Y = 10^{(2.4255)}$$

$$Y = 266.3790097$$

$$X = Y * T^{-1.163}$$

$$X = (266.3790097) * (120)^{-1.163}$$

$$X = 1.017213724$$

$$\mu_o = 10^X - 1$$

$$\mu_o = 10^{1.017213724} - 1$$

$$\mu_o = 9.4 \text{ cp}$$

##### 1.3.2. Calculo de diámetro de gotitas de agua

$$d_m = 200 * (\mu_o)^{0.25}$$

$$d_m = 200 * (9.4)^{0.25}$$

dm = 350 micrones

### 1.3.3. Calculo de la sección de asentamiento

$$d_i * L_{eff} = \frac{438 * (Q_o * \mu_o)}{\Delta SG * (dm)^2}$$

$$d_i * L_{eff} = \frac{438 * (5000 * 9.4)}{0.165 * (350)^2}$$

$$d_i * L_{eff} = 1018$$

Resultados de las propiedades físicas del crudo a diferentes temperaturas

Temperatura Tratamiento (°F)	90	100	120
$\Delta SG$	0.165	0.165	0.165
$U_o$ (ecuación 1), Cp	25.4	17	9.4
$d_m$ (ecuación 2), micrones	448	406	350
$d_i L_{eff}$ (ecuación 3)	1671	1371	1017

### 1.3.4. Ecuación de tiempo de retención

Se representa gráficamente  $L_{eff}$  con tiempos de retención menores de 20 minutos.

$T_r = 20$  minutos

$$d_i^2 * L_{eff} = \frac{T_r Q_o}{1.05}$$

$$d_i^2 * L_{eff} = \frac{20 * 5000}{1.05}$$

$$d_i^2 * L_{eff} = 95,238$$

El área sombreada de la figura siguiente representa combinaciones de  $d_i$  y  $L_{eff}$  con tiempos de retención menores de 20 minutos.

### 1.3.5. Calculo de calor requerido

$$q = 16 * Q_o * \Delta T * (0.5 * SG_o + 0.1)$$

$$q = 16 * 5000 * \Delta T * (0.5 * 0.875 + 0.1)$$

$$q = 43.000 * \Delta T$$

Substituyendo la temperatura de tratamiento de 90°F, 100°F y 120 °F y con la temperatura de entrada al tratador de 90° F hallamos los valores para q:

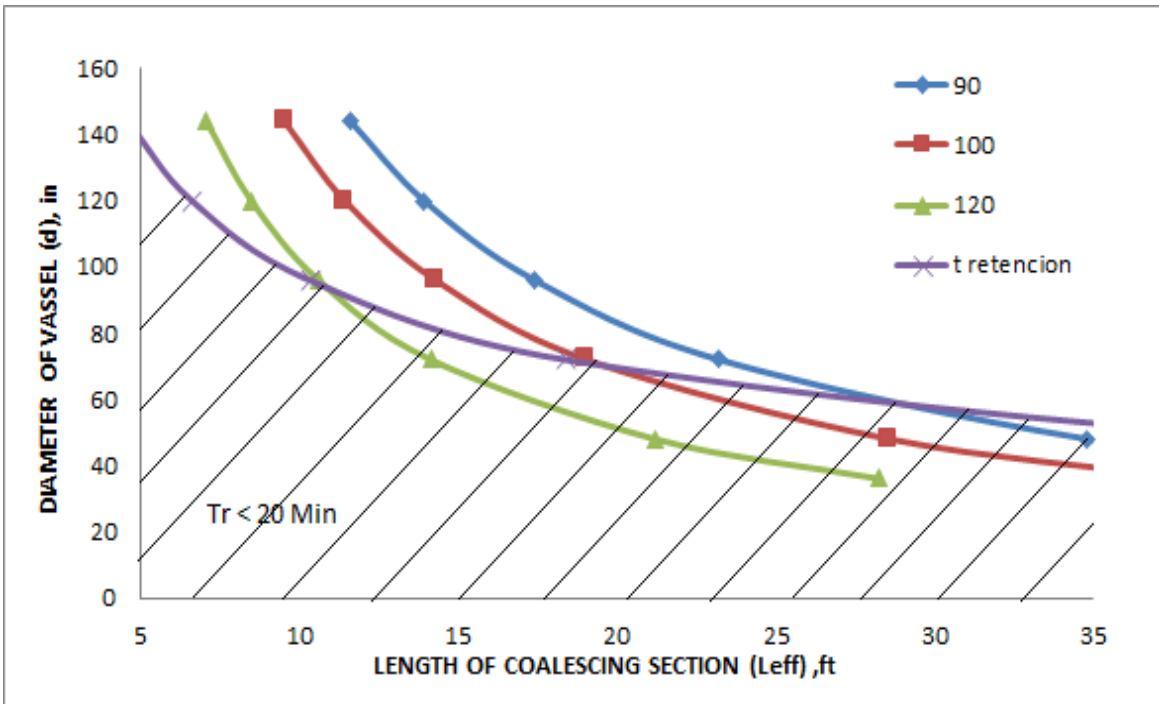
$$q_1 = 0 \text{ MM BTU/hr}$$

$$q_2 = 0,43 \text{ MM BTU/hr}$$

$$q_3 = 1,29 \text{ MM BTU/hr}$$

### Selección de las posibles soluciones

Escogemos cualquier combinación de  $d_i$  y  $L_{eff}$  que no esté en el área sombreada. Lea la correspondiente temperatura de tratamiento.



### Soluciones del ejemplo

Temperatura de tratamiento (°F)	$D_i$ (pulg)	$L_f$ (ft)	Calor requerido (MM BTU/h)
90	144	11.61	0.00
	120	13.9	
	96	17	
100	96	14	0.43
	72	20	
120	96	10	1.29
	72	20	

Una solución económica puede ser 72 in de diámetro de tratador con 20 ft de sección de coalescencia y 0.86 MM BTU/hr de capacidad del tubo calentador. Dadas las condiciones del diseño empírico el crudo podría ser tratado a 80 °F. Se

debe dar una capacidad adicional para el quemador, que permita una temperatura hasta de 100 °F que puede ser requerida en condiciones de campo.

#### 1.4. EJERCICIO N°. 4 Dimensionamiento de un tratador térmico horizontal por el método grafico

Datos:

Gravedad del crudo = 30 °API

Gravedad específica del agua = 1.04

Gravedad específica del crudo = 0.875

Tasa de flujo de crudo = 5.000 BPD

Temperatura de entrada del crudo = 90 °F

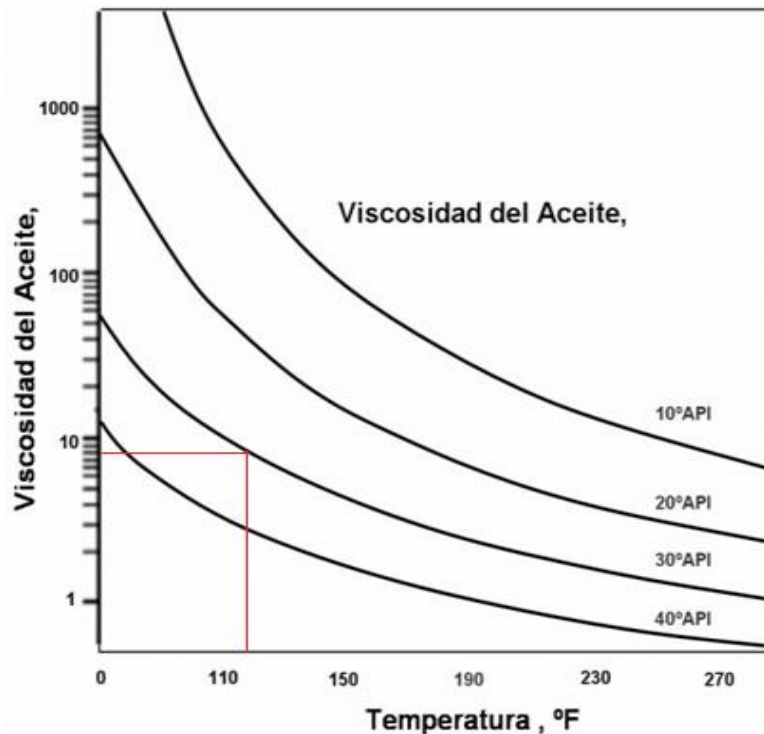
#### Solución

El dimensionamiento se realiza para las temperaturas 90°F, 100° F y 120° F

**NOTA:** Utilizar la gráfica que a continuación se relaciona para calcular la viscosidad a cada una de las temperaturas de tratamiento.

#### Muestra de cálculo para temperatura de 120°F

##### 1.4.1. Calculo de la viscosidad



De la gráfica, con  $T = 120$  °F y  $G = 30$  °API tenemos:

$$\mu = 9.0 \text{ cp}$$

Resultados de las propiedades físicas del crudo a diferentes temperaturas

Temperatura Tratamiento (°F)	90	100	120
$\Delta SG$	0.165	0.165	0.165
$U_0$ (figura 15),Cp	24	15	9.0
$d_m$ (ecuación 2),micrones	442	394	346
$d_i L_{eff}$ (ecuación 3)	1630	1283	998

El ejercicio se continúa desarrollando a partir del paso 1.3.2. Por método de ecuaciones para tratadores térmicos horizontales.

### 1.5. EJERCICIO No. 5 Dimensionamiento de tratador electrostático a partir de ecuaciones

Datos:

Gravedad del crudo = 24 °API

Tasa de flujo de crudo = 5000 BPD (0.00920065 m<sup>3</sup>/s)

Gravedad específica del agua = 1.035

Gravedad específica del crudo = 0.91

Densidad del crudo = 910 kg/m<sup>3</sup>

Densidad del agua=1035 kg/m<sup>3</sup>

Temperatura de entrada del crudo = 90 °F

**Solución**

El dimensionamiento se realiza para las temperaturas 100°F, 110°F, 120°F, 130°F.

#### 1.5.1 Calculo de la viscosidad

**Muestra de cálculo a la temperatura promedio 115 °F**

$$Z = 3.0324 - 0.02023 * (G)$$

$$Z = 3.0324 - 0.02023 * (24)$$

$$Z = 2.54688$$

$$Y = 10^Z$$

$$Y = 10^{(2.54688)}$$

$$Y = 352.2735208$$

$$X = Y * T^{-1.163}$$

$$X = (352.2735208) * (130)^{-1.163}$$

$$X = 1.413475912$$

$$\mu_o = 10^X - 1$$

$$\mu_o = 10^{1.413475912} - 1$$

$$\mu_o = 24.91 \text{ Cp}$$

$$\mu_o = 0.02491 \text{ Pa*Seg}$$

Calculo de la viscosidad del crudo a diferentes temperaturas

T(°F)	Z= 3.0324 – 0.02023 * (G)	Y= 10 <sup>Z</sup>	X= Y*T <sup>-1.163</sup>	μ <sub>o</sub> = 10 <sup>X</sup> -1 (cp)
100	2.54688	352.2735208	1.6630	45.02
110	2.54688	352.2735208	1.4885	29.79
120	2.54688	352.2735208	1.3452	21.14
130	2.54688	352.2735208	1.2256	15.81

### 1.5.2. Calculo de diámetro de las gotitas de agua

$$dm = 500 * (\mu_o)^{-0.675}$$

$$dm = 500 * (24.91)^{-0.675}$$

$$dm = 57.0705 \text{ micrones}$$

Calculo de diámetro de las gotitas de agua a diferentes temperaturas en micrones

T(°F)	dm = 500*(μ <sub>o</sub> ) <sup>-0.675</sup>
100	38.28
110	50.57
120	63.75
130	77.56

### 1.5.3. Calculo de la sección de asentamiento

$$d_i * L_{eff} = \frac{438 * (Q_o * \mu_o)}{\Delta SG * (dm)^2}$$

$$d_i * L_{eff} = \frac{438 * (5000 * 24.91)}{0.125 * (57.0705)^2}$$

$$d_i * L_{eff} = 133996.40$$

Cálculo de la sección de asentamiento a diferentes temperaturas

T(°F)	d <sub>i</sub> * L <sub>eff</sub> = $\frac{438 * (Q_o * \mu_o)}{\Delta SG * (dm)^2}$
100	538409.32
110	204083.60
120	1116.64
130	46054.42



Resultados de las propiedades físicas del crudo a diferentes temperaturas

	100 °F	120°F	130°F	140°F
$\Delta\rho$	<b>0.125</b>	<b>0.125</b>	<b>0.125</b>	<b>0.125</b>
$\mu_o$ (Cp)	45.02	29.79	21.14	15.81
dm(micrones)	38.28	50.57	63.75	77.56

#### 1.5.4 cálculo de la longitud de la sección de coalescencia

$$d_i * L_{eff} = \frac{438 * (Q_o * \mu_o)}{\Delta SG * (dm)^2}$$

$$d_i * L_{eff} = \frac{438 * (5000 * 24.91)}{0.125 * (57.0705)^2}$$

$$d_i * L_{eff} = 133996.40$$

$$L_{eff} = \frac{133996.40}{72}$$

$$L_{eff} = 1861.06 \text{ ft}$$

Cálculo de la longitud de la sección de coalescencia a diferentes diámetros nominales

$d_i$ (ft)	$d_i$ (in)	$L_{eff}$ (ft)
6	72	1861.06
8	96	1395.80
10	120	1116.64
12	144	930.53

#### Tabla resumen

T(°F)	$\mu$ Cp	dm micrones	di(in)	Leff(ft)	
100	15.81	77.56	72.00	1861.06	
110	12.32	91.80	96.00	1395.80	
120	9.91	106.34	120.00	1116.64	
130	8.18	121.05	144.00	930.53	
<b>Promedio</b>	115	27.94	57.54	108	1326

En la tabla anterior observamos que la longitud promedio de la sección de coalescencia es aproximadamente 1326 ft, para un diámetro establecido de 108 in.

### 1.5.5 cálculo del tiempo de retención

$$\begin{aligned} Tr &= \frac{Di^2 * L_{eff} * 1.05}{Q_o} \\ Tr &= \frac{(108)^2 * (1326) * 1.05}{5000} \\ Tr &= 3247 \text{ min} \\ Tr &= 54 \text{ hr} \end{aligned}$$

### 1.5.6. Calculo de la velocidad de flujo que manejarían las parrillas.

$$v = \frac{Q_o}{A} = C \left( \frac{\Delta\rho}{\mu_o} \right)^{0.6}$$

$$v = (18.5 * 10^{-6}) * \left( \frac{1035 - 910}{0.02491} \right)^{0.6} = 3.07 * 10^{-3} \text{ m/s ... DC}$$

$$v = (23 * 10^{-6}) * \left( \frac{1035 - 910}{0.02491} \right)^{0.6} = 3.81 * 10^{-3} \text{ m/s ... AC}$$

$$v = (28 * 10^{-6}) * \left( \frac{1035 - 910}{0.02491} \right)^{0.6} = 4.65 * 10^{-3} \text{ m/s ... AC/DC}$$

### 1.5.7. Calculo del área óptima de las parrillas

$$A = \frac{Q_o}{v}$$

$$A = \frac{Q_o}{V} = \frac{0.009200654}{3.07 * 10^{-3}} = 2.99 \text{ m}^2 \text{ ... DC}$$

$$A = \frac{Q_o}{V} = \frac{0.009200654}{3.81 * 10^{-3}} = 2.41 \text{ m}^2 \text{ ... AC}$$

$$A = \frac{Q_o}{V} = \frac{0.009200654}{4.65 * 10^{-3}} = 1.98 \text{ m}^2 \text{ ... AC/DC}$$

## 1.6. EJERCICIO No. 5 Dimensionamiento de tratador electrostático a partir de grafica

Datos:

Gravedad del crudo = 24 °API

Tasa de flujo de crudo = 5000 BPD (0.00920065 m<sup>3</sup>/s)

Gravedad específica del agua = 1.035

Gravedad específica del crudo = 0.91

Densidad del crudo = 910 kg/m<sup>3</sup>

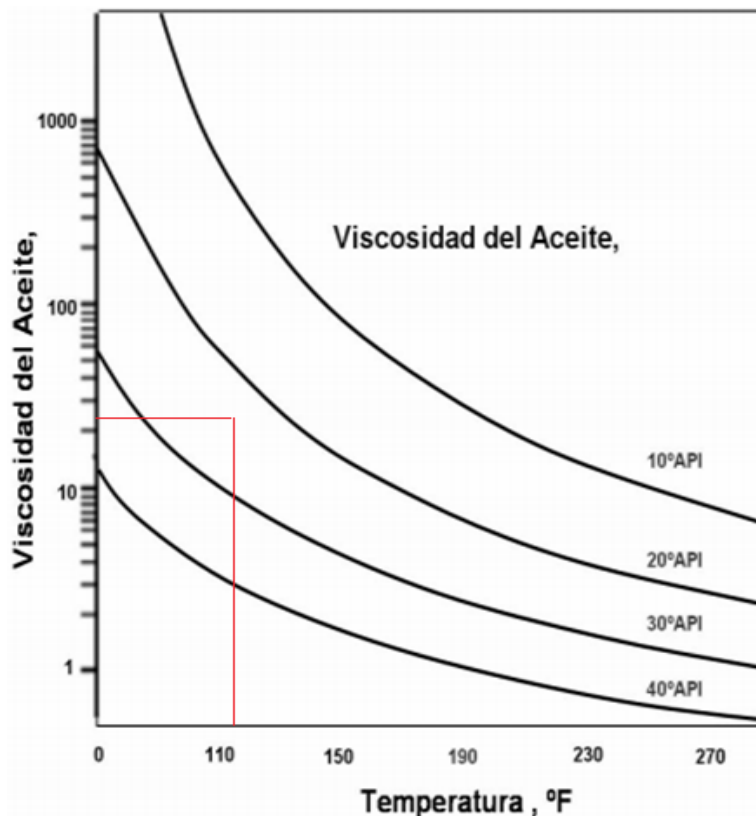
Densidad del agua=1035 kg/m<sup>3</sup>

Temperatura de entrada del crudo = 90 °F

### Solución

El dimensionamiento se realiza para las temperaturas 100°F, 110°F, 120°F, 130°F.

**NOTA:** hacer uso de la gráfica siguiente para calcular la viscosidad a cada una de las temperaturas de tratamiento.



### 1.6.1 Calculo de la viscosidad

Muestra de cálculo a la temperatura promedio 115 °F

De la gráfica, con T = 115 °F y G = 23 °API tenemos:

$$\mu = 29 \text{ Cp}$$

**NOTA:**

- Calcular la viscosidad para cada una de las temperaturas de tratamiento haciendo uso del grafico como se hizo para la temperatura de tratamiento de 115 °F.
- El ejercicio se continúa desarrollando a partir del paso 1.5.2. Por método de ecuaciones para tratadores electrostáticos.

## ANEXO 2

### GENERALIDADES SOBRE EL TRATAMIENTO DE EMULSIONES

La producción de petróleo de un yacimiento con frecuencia va acompañada de agua. Según las condiciones en que estos se depositan en el yacimiento, ésta agua puede tener muchas o pocas sales en solución, y además puede estar libre o emulsionada con el petróleo.

El agua libre, es definida por el Instituto Americano del Petróleo (API), como la cantidad de agua de producción que se sedimentará y se separará del petróleo en un lapso no mayor de cinco minutos, como consecuencia del asentamiento gravitacional. El resto de agua presente se considerará como emulsionada y requiere de un proceso de tratamiento para ser removida.

La cantidad de agua remanente emulsionada varía ampliamente desde 1 a 60 % en volumen. En los crudos medianos y livianos ( $>20$  °API) las emulsiones contienen típicamente de 5 a 20 % volumen de agua, mientras que en los crudos pesados y extrapesados ( $<20$  °API) tienen a menudo de 10 a 35 % de agua. La cantidad de agua libre depende de la relación agua/aceite y varía significativamente de un pozo a otro. La palabra "agua" significa agua producida y es una salmuera conteniendo cloruro de sodio y otras sales.

Por muchos años en la Industria Petrolera ha existido la necesidad de tratar las emulsiones de petróleo y agua, para reducir el contenido de agua y sedimento a menos de 1% y cumplir así con las especificaciones de venta de estos crudos.

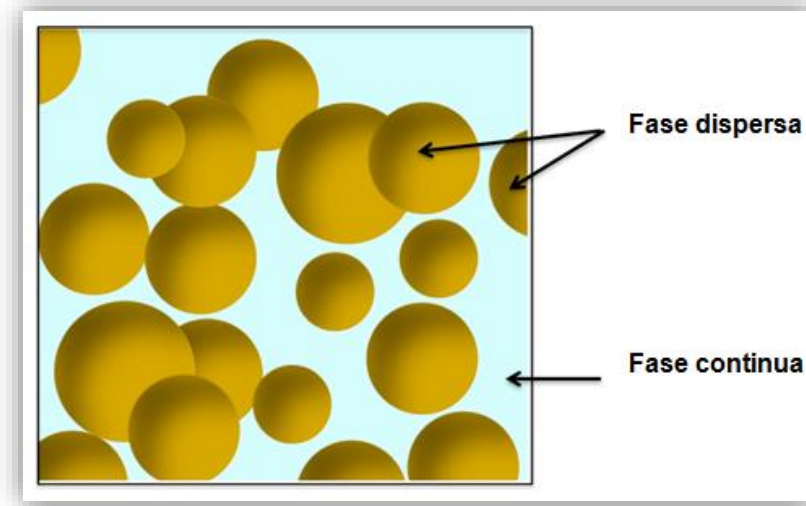
Existen varias razones que justifican lo anterior:

- ✓ En primer lugar, el crudo es comprado y vendido con base en su gravedad °API. El petróleo de alta gravedad obtiene mayores precios, y la presencia de agua no conviene, porque es un contaminante y consecuentemente, afecta su precio. Otros factores que afectan el precio del crudo son: viscosidad, contenido de azufre, metales pesados.
- ✓ En segundo lugar, cuando el petróleo emulsificado se transporta, el agua ocupa parte de la capacidad de conducción (provocando sobrecarga) y reducción de la capacidad de transporte del oleoducto.
- ✓ Por último, el petróleo es utilizado en refinería en donde mediante proceso que incluye el fraccionamiento y transformaciones químicas del mismo para producir derivados comercializables, Para ello es necesario que el petróleo cumpla con los valores de BS&W.

## EMULSIÓN

Una emulsión es un sistema de dos fases que consta de dos líquidos mutuamente inmiscibles, uno de los cuales está disperso en finas gotas en el otro. El líquido presente como pequeñas gotas es la fase dispersa o interna, mientras que el líquido que lo rodea es la fase continua o externa.

Emulsión



Fuente: <http://scienceandcooking.seas.harvard.edu/outline.html>

## FORMACIÓN DE EMULSIONES

Existen tres requisitos para que se forme una emulsión:

- ✓ Dos líquidos inmiscibles.
- ✓ Suficiente agitación para dispersar los líquidos en pequeñas gotas.
- ✓ Un agente emulsificador para estabilizar las gotas dispersas.

Las emulsiones son causadas por turbulencia o agitación, ya que el golpeteo, dispersa una de las fases en gotas pequeñas. Dos líquidos inmiscibles no pueden formar una emulsión estable; si no hay presencia de fuerzas estabilizadoras dentro de la emulsión, entonces, pequeñas gotas se unirán de nuevo.

Una tercera sustancia o el llamado agente emulsificante, debe estar presente para estabilizar la emulsión. Estos agentes son compuestos que contienen moléculas polares y no polares. Las moléculas polares tienen afinidad fuerte por otras moléculas polares y tienen una tendencia marcada a disolverse en solventes polares como el agua. Las sustancias no polares tienen mejor solubilidad en solventes no polares como el petróleo.

Los surfactantes estabilizan las emulsiones por migración hacia la interfase aceite-agua, además, forman una película interfacial alrededor de las gotas de aceite. La película estabiliza la emulsión debido a las siguientes causas:

- ✓ Reduce las fuerzas de la tensión superficial que se requieren para la coalescencia de las gotas.
- ✓ Forma una barrera viscosa que inhibe la coalescencia de las gotas.
- ✓ Si el surfactante es polar, al alinearse en la superficie de las gotas del agua, su carga eléctrica provoca que se repelan unas gotas con otras.

## **TEORÍAS SOBRE LA FORMACIÓN DE EMULSIONES**

Existen varias teorías que explican cómo dos líquidos inmiscibles forman emulsiones estables; entre ellas tenemos:

### **Teoría coloidal**

La teoría coloidal relaciona la formación de emulsiones con la química coloidal. Los coloides son sustancias que permanecen en suspensión en los líquidos, así como las arcillas; sustancias coloidales que permanecen en suspensión en el agua por mucho tiempo después de un período de agitación, las pequeñas gotas de agua suspendidas en una emulsión normal están regidas por las mismas leyes físicas que controlan la suspensión de arcilla en agua (coloides).

### **Teoría del agente emulsificante**

En esta teoría se explica por qué las pequeñas gotas de agua dispersas en una emulsión normal no se unen al ponerse en contacto, debido a que están recubiertas por una sustancia diferente a ella y un agente emulsificante, la cual forma una barrera física para evitar la unión de las gotas de agua. Dependiendo de las características del agente emulsificante y de su relación con los líquidos, se formará una emulsión normal o inversa, teniendo en cuenta que el líquido en el cual se disuelva, será la fase continua de la emulsión.

### **Teoría de la tensión interfacial**

Esta teoría hace referencia a la formación de emulsiones basada en los fenómenos de tensión interfacial, que explican la oclusión de una gota de líquido dentro de otro, debido a que el líquido de tensión superficial mayor (agua) asume una forma convexa, originando gotas esféricas que tienden a presentar mayor superficie al otro líquido (aceite).

Si la tensión interfacial entre el agua y el aceite es alta, la emulsificación se dificulta porque el aceite tiende a extenderse sobre la superficie del agua formándose una capa delgada. Bajo las condiciones anteriores y si se desea formar una emulsión, se deben agregar ciertas sales solubles como carbonato de

Calcio, oleato de sodio y sulfato de aluminio. Además si se desea evitar la formación de la emulsión se deben agregar cloruros solubles en el agua.

### **Teoría de las cargas eléctricas**

La teoría de las cargas eléctricas, mediante experimentos, ha demostrado que las gotas de agua están cargadas eléctricamente, lo cual se explica con la repulsión de las gotas al estar en contacto, debido a sus cargas eléctricas iguales; esto ha sido corroborado con la facilidad de unión de las partículas después de que se neutralizan tales cargas por acción de una corriente eléctrica.

### **TIPOS DE EMULSIONES**

Las emulsiones de petróleo y agua pueden encontrarse en cuatro formas diferentes:

#### **Agua en petróleo (W/O)**

Es el tipo de emulsión más común en la industria petrolera: en ella la fase dispersa es el agua, y la fase continua es el petróleo. Generalmente su contenido de agua oscila entre 10 y 40%.

#### **Petróleo en agua (O/W)**

En esta emulsión la fase dispersa la constituye el petróleo, y la fase continua el agua; normalmente se da en el agua drenada, posteriormente al tratamiento de deshidratación.

#### **Petróleo en agua en petróleo (O/W/O)**

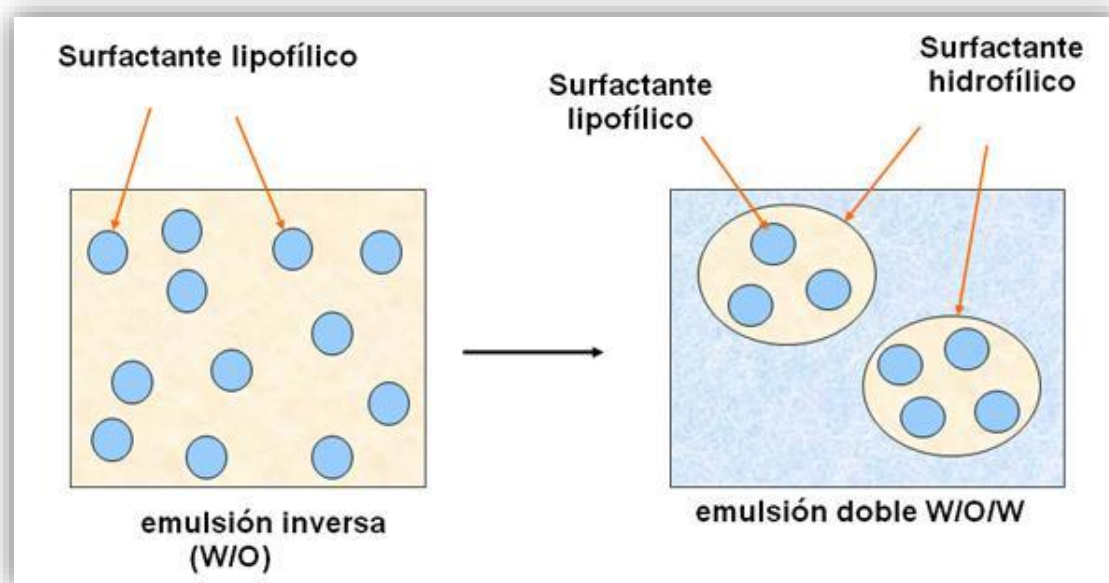
Este tipo de emulsión no se encuentra con frecuencia, y tiene una forma compleja. Está constituida por una fase continua de petróleo en cuyo seno se encuentran dispersos glóbulos de agua, los que a su vez forman una fase continua en la cual se encuentran dispersos glóbulos pequeños de petróleo.

#### **Agua en petróleo en agua (W/O/W)**

Este tipo de emulsión la constituye una fase continua de agua, en la cual se encuentra una primera fase dispersa de petróleo, que a su vez, le sirve de fase continua a una segunda fase de agua. Esta se obtiene principalmente en laboratorios.



## Tipos de emulsiones



Fuente: <http://www.ifisica.uaslp.mx/~alara/emulsiones.html>

### CLASIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES

Dependiendo del aspecto que se analice, las emulsiones se pueden clasificar así:

#### Según el grado de estabilidad

✓ **Estables**

Una emulsión es estable cuando luego de formada, la única manera de conseguir que las fases se separen es mediante la aplicación de sistemas de tratamiento.

✓ **Inestables**

Una emulsión es inestable cuando al dejarla en reposo durante algún tiempo, las fases se separan por gravedad.

#### Según las fases de la emulsión

✓ **Normales**

Una emulsión normal es aquella en la cual la fase continua es el aceite y la fase dispersa es el agua.

✓ **Inversas**

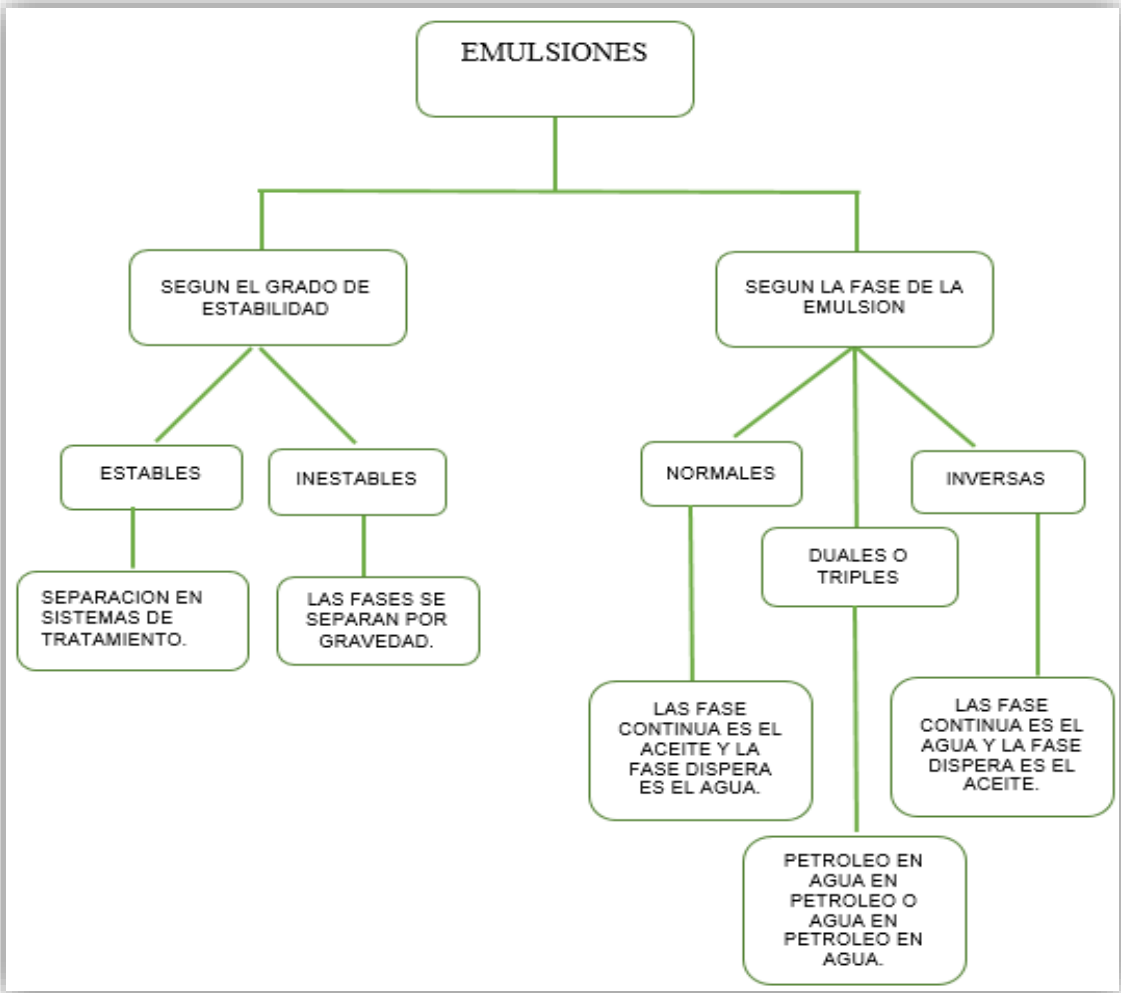
Una emulsión es inversa cuando la fase continua es el agua y la fase dispersa es el aceite.

✓ **Duales o Triples**

Petróleo en agua en Petróleo y agua en Petróleo en agua. La emulsión de petróleo en agua o inversa, en la mayoría de los casos consiste en gotas finas de petróleo rodeadas por una tenue película de agua. Para eliminarlas, generalmente, se requiere de tratamiento químico y combinado. Las emulsiones triples o duales aunque son de rara ocurrencia, se pueden presentar en crudos muy pesados y viscosos acompañados de agua fresca y blanda. Por lo general, requieren tratamiento químico especial. La emulsión agua en petróleo o directa, es la que se presenta en el 90% de los casos.

El siguiente diagrama resume la clasificación de las emulsiones:

**Figura N°. .3.** Clasificación de las emulsiones



Fuente: Autores

## **FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES**

La estabilidad de las emulsiones, es decir la resistencia a fracturarse, depende de varios factores, que también influyen en la facilidad con la que un petróleo y agua se emulsificarán. No obstante que el control de la mayoría de estos factores escapan al operador, ciertas precauciones podrán ser justificadas por un costo de tratamiento más bajo. Algunos de estos factores son:

### **Viscosidad del petróleo**

Se define por viscosidad de un líquido a la resistencia que éste presenta cuando fluye a través de un ducto. Mientras mayor sea la resistencia a fluir, mayor será su viscosidad, y recíprocamente, el fluido fluirá fácilmente cuando su viscosidad sea baja.

Un petróleo con una viscosidad alta, es decir, que fluye lentamente, mantendrá en suspensión gotas mucho más grandes que otro de viscosidad baja.

Por mantener gotas grandes y por ser más lenta la velocidad con la que se precipitan, un petróleo de viscosidad alta requiere más tiempo para que las gotas de agua puedan unirse y otra parte, el tiempo necesario para que precipiten las gotas de mayor. Por lo tanto, entre más alta sea la viscosidad más estable será la emulsión.

### **Temperatura**

La estabilidad de una emulsión depende de la temperatura, ya que ésta controla la viscosidad hasta cierta extensión.

Por lo tanto, una emulsión será más estable a menor temperatura, ya que así la viscosidad aumenta, y con ella la resistencia al movimiento de las gotas. Es por ello que se aplica calor en los sistemas de tratamiento. El agregar calor a un caudal de aceite-agua es uno de los métodos tradicionales para separar estas dos fases.

### **Contenido de agua**

El contenido de agua en una emulsión tiene un efecto directo en su estabilidad, para una cantidad dada de petróleo y agua. Una emulsión estable puede formarse para una gran cantidad de volumen de mezcla, pero la emulsión de máxima estabilidad ocurrirá a una relación dada de Agua-Petróleo, dependiendo del tipo de crudo.

### **Edad de una emulsión**

Si un crudo emulsionado se almacena y no se trata, una cierta cantidad de agua precipitará por gravedad y otra parte se tendrá emulsionada; a menos que alguna

forma de tratamiento sea empleada para completar la ruptura total, habrá un porcentaje pequeño de agua en el petróleo, aunque se prolongue el tiempo de sedimentación. Como se señaló anteriormente, este pequeño porcentaje de agua tiende a estabilizar la emulsión. Esto explica el por qué algunas emulsiones se hacen más estables y más difíciles de tratar después que han envejecido; es decir, con el paso del tiempo, una porción de agua precipita y el porcentaje más pequeño que permanece en el petróleo hace a esa porción de la producción total más difícil de separar.

### **Agente emulsionante**

Existen agentes que propician la estabilidad de una emulsión tales como productos tensoactivos o surfactantes, materiales presentes en la naturaleza y artificiales e igualmente Sólidos finamente divididos.

### **Residuos de carbón**

El efecto de los residuos de carbón en la estabilidad de las emulsiones es comparable al de la viscosidad del petróleo; es decir, entre mayor sea el contenido de residuos de carbón presentes en el petróleo, mayor será la estabilidad de la emulsión y viceversa.

### **Cargas eléctricas**

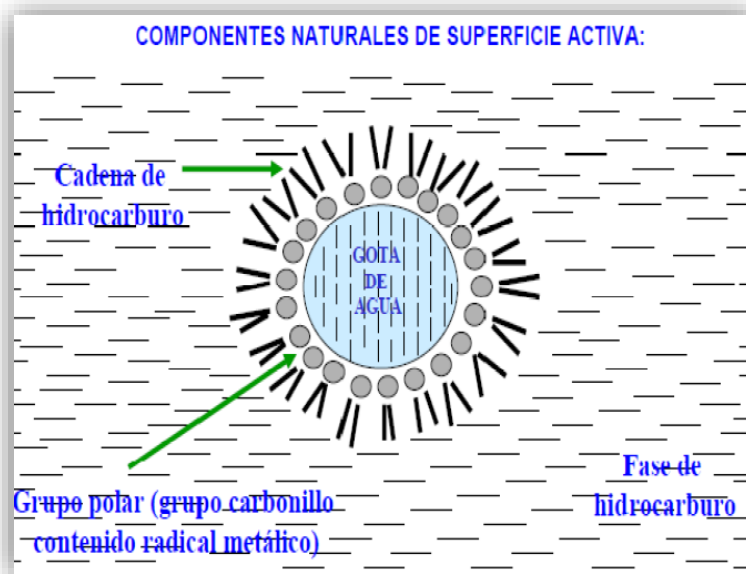
La estabilidad de una emulsión se incrementará cuando las cargas eléctricas de las partículas aumenten. Algunas emulsiones se estabilizan completamente por la atracción eléctrica.

### **Exposición al aire**

Se comprueba que las emulsiones se hacen más estables cuando están expuestas al aire.

Esto se debe a que el oxígeno del aire reacciona con los componentes del crudo para formar un agente emulsionante. Esta acción ocurre muy rápidamente y bastan unos pocos segundos de exposición al aire para estabilizar la emulsión.

**Figura N°. 1.4.** Absorción del agente emulsionante en la interfase petróleo-agua



Fuente:: Brandt F. Enero 2007. Deshidratación de Crudos.

### Tamaño de las gotas

El tamaño de las gotas en una emulsión afecta su estabilidad, pues cuando las gotas se aproximan a un tamaño de 10 micrones (0.01 mm) en diámetro, la emulsión se hace más estable.

Un pequeño aumento en el tamaño de la gota de agua, se refleja en un aumento significativo en la tasa o velocidad de asentamiento.

No es frecuente tener información de laboratorio referente al tamaño de la gota de agua dispersa en el crudo, sin embargo, existen laboratorios, en las cuales se puede determinar su tamaño.

### Velocidad de asentamiento o ascenso de la gota

La velocidad de asentamiento de la gota de agua se determina usando la ley de Stokes, ésta también puede ser usada para determinar los efectos de las propiedades del fluido producido en la estabilidad de la emulsión. Primero, la velocidad de asentamiento es proporcional al cuadrado del diámetro de la gota, por lo tanto, una emulsión puede ser estabilizada reduciendo el diámetro de la gota.

Las gotas de una emulsión están generalmente en el rango de 0.5-50  $\mu\text{m}$ . Los tamaños de gota arriba de 10-150  $\mu\text{m}$  deben ser clasificados como una dispersión.

### Tensión interfacial

La reducción de la tensión interfacial es suficiente para aumentar la estabilidad de la emulsión. Aunque se ha encontrado recientemente que los sistemas de tensión ultra-baja producen emulsiones inestables. Estudios de tensión interfacial dinámica entre crudo y agua muestran que la tensión disminuye con el tiempo y que se requieren varias horas de contacto para obtener un valor estable.

### **Viscosidad de la fase externa**

La viscosidad alta en la fase externa disminuye el coeficiente de difusión y la frecuencia de colisión de las gotas, por lo que se incrementa la estabilidad de la emulsión. Una alta concentración de las gotas también incrementa la viscosidad aparente de la fase continua y estabiliza la emulsión.

### **Relación de volumen de fases**

Incrementando el volumen de la fase dispersa se incrementa el número de gotas y/o tamaño de gota y el área interfacial. La distancia de separación se reduce y esto aumenta la probabilidad de colisión de las gotas. Todos estos factores reducen la estabilidad de la emulsión.

### **pH**

La adición de ácidos o bases inorgánicos cambia radicalmente la formación de películas de asfaltenos y resinas que estabilizan las emulsiones agua-aceite. Ajustando el pH se puede minimizar la rigidez de la película que estabiliza la emulsión y aumenta la tensión superficial.

### **Salinidad de la salmuera**

La concentración de la salmuera es un factor importante en la formación de emulsiones estables. Agua fresca o salmuera con baja concentración de sal favorecen la estabilidad de las emulsiones. Por el contrario, altas concentraciones de sal tienden a reducirla.

### **Tipo de aceite**

Los crudos con aceite de base parafínica usualmente no forman emulsiones estables, mientras que los crudos nafténicos y de base mixta forman emulsiones estables.

Ceras, resinas, asfaltenos y otros sólidos pueden influenciar la estabilidad de la emulsión. En otras palabras, el tipo de crudo determina la cantidad y tipo de emulsionantes naturales.

### **Diferencia de densidad**

La fuerza neta de gravedad que actúa en una gota es directamente proporcional a la diferencia en densidades entre la gota y la fase continua.

Aumentando la diferencia de densidad por incremento de la temperatura se logra aumentar la velocidad de sedimentación de las gotas y por ende, se acelera la coalescencia.

### **Presencia de cationes**

Los cationes divalentes como calcio y magnesio tienen tendencia a producir una compactación de las películas adsorbidas, probablemente por efecto de pantalla electrostática de un lado, y por otro, la precipitación de sales insolubles en la interfase.

### **Propiedades reológicas interfaciales**

Generalmente, cuando una interfase con moléculas de surfactantes adsorbidas se estira o dilata se generan gradientes de tensión. Los gradientes de tensión se oponen al estiramiento e intentan restaurar la uniformidad de la tensión interfacial. Como consecuencia, la interfase presenta una cierta elasticidad.

### **DESEMULSIFICACIÓN**

La desemulsificación es el rompimiento y separación de la emulsión en sus diferentes fases, en esta se presenta la sedimentación (acercamiento macroscópico de las gotas), la floculación (agregación, aglomeración), y la coalescencia. Desde el punto de vista de la producción de aceite es interesante observar dos aspectos de la desemulsificación.

- ✓ La tasa o velocidad con la cual la separación tiene lugar.
- ✓ La obtención de los valores mínimos requeridos de BS&W en el petróleo.

Como se mencionó previamente las emulsiones poseen un grado de estabilidad, para lograr reducirla y obtener la separación de la emulsión, la película interfacial debe ser destruida y hacer que las gotas coalescan; la desestabilización o rompimiento de la emulsión está íntimamente relacionada con la remoción de la película interfacial. Los factores que aceleran el rompimiento de la emulsión incluyen:

- ✓ Aumento de la temperatura.
- ✓ Reducción de la agitación.
- ✓ Incremento del tiempo de residencia o retención.
- ✓ Remoción de sólidos.
- ✓ Control de agentes emulsificantes.

## **METODOS DE TRATAMIENTO PARA EMULSIONES**

El tratamiento de las emulsiones puede incluir uno o más de los siguientes métodos:

- ✓ Gravitacional
- ✓ Químico
- ✓ Térmico
- ✓ Eléctrico

### **Método gravitacional**

El asentamiento gravitacional se lleva a cabo en grandes recipientes llamados tanques, tanques de lavado, Gun Barrel y eliminadores de agua libre (FWKO).

Los FWKO son utilizados solamente para remover grandes cantidades de agua libre, la cual es conducida en la corriente, pero que no está emulsionada y se asienta fácilmente entre unos 10 - 20 minutos de reposo.

Este tratamiento se basa en el principio de la diferencia de densidades entre dos fluidos, en este caso el agua y el aceite. Debido a la mayor densidad o gravedad específica del agua, ésta irá al fondo del tanque o recipiente de asentamiento, mientras que el aceite, de menor densidad estará en la parte superior. Para que se dé este tipo de tratamiento, es necesario dejar al crudo en reposo durante un determinado tiempo, drenándose posteriormente el agua que se deposita en el fondo del tanque.

El crudo de salida de un FWKO todavía contiene de 1 a 30% de agua emulsionada. En el interior de estos recipientes que son de simple construcción y operación, se encuentran baffles para direccionar el flujo y platos de coalescencia que aumentan su eficiencia.

El agua es removida por la fuerza de gravedad y esta remoción provoca ahorro en el uso de combustible para los calentadores. El calentamiento de agua, aparte de ser un desperdicio de energía, provoca problemas de incrustación y requiere del uso de tratamiento químico adicional para prevenir la incrustación, el cual es sumamente costoso.

El tiempo necesario para separar completamente una emulsión se llama tiempo de sedimentación. La proporción de sedimentación de una emulsión de agua en crudo se ve afectada por la viscosidad, tamaño de las gotas de agua, y la gravedad.

Si el crudo es de alta viscosidad, las gotas de agua no se pueden mover sin una resistencia considerable y no se separarán fácilmente. El régimen de sedimentación es también afectado por el tamaño de las gotas de agua. Las gotas



más pequeñas son más ligeras y toman más tiempo en separar mediante sedimentación.

Si la diferencia en peso específico entre el agua y el crudo es pequeña, la separación es lenta. Sin embargo, el agua pesa más que el crudo y eventualmente se sedimentará en el fondo del tanque. Algunas emulsiones pueden tratarse adecuadamente solo con sedimentación. Otras necesitan procedimientos de tratamiento adicionales diseñados para acelerar el proceso de sedimentación.

### **Método Químico**

El método más común de tratamiento de emulsión es la adición de químicos llamados desemulsificantes. Estos químicos están diseñados para neutralizar el efecto del agente emulsificante que estabiliza la emulsión. Los desemulsificantes son componentes surfactantes que cuando se adicionan a la emulsión migran a la interfase aceite-agua y rompen o debilitan la película rígida y mejoran la coalescencia de las gotas de agua. Un óptimo rompimiento de emulsiones con desemulsificantes requiere:

- ✓ Una apropiada selección del químico para una emulsión dada.
- ✓ Una adecuada cantidad de ese químico.
- ✓ Una adecuada mezcla del químico en la emulsión.
- ✓ Suficiente tiempo de retención para permitir la sedimentación de las gotas.

La cantidad y calidad de químicos adicionados es muy importante. Una pequeña cantidad de desemulsificante puede no resolver el problema de emulsiones, pero una cantidad muy alta puede resultar dañina para el proceso de tratamiento, ya que los desemulsificantes también son surfactantes y un exceso en la cantidad de desemulsificante puede producir una emulsión muy estable; en este caso el desemulsificante simplemente reemplaza los emulsificantes naturales. Debido a la amplia variedad de químicos desarrollados como desemulsificantes y a los diferentes tipos de crudo manejados, es muy difícil establecer una dosificación típica o estándar para el tratamiento de emulsiones. La cantidad o dosificación de desemulsificante requerido es muy específico y depende de varios factores.

#### ✓ **Acción de los químicos desemulsificantes**

Muchos estudios han demostrado que el mecanismo físico-químico de acción de los agentes desemulsionantes está asociado a la formulación óptima del sistema ( $SAD = 0$ , siendo SAD la Diferencia de Afinidad del Surfactante).

La formulación óptima se define básicamente como un estado de equilibrio entre las afinidades del surfactante para la fase acuosa y para la fase oléica. Se han determinado cuantitativamente los efectos de las diferentes variables de formulación (salinidad, WOR, temperatura, entre otras) sobre el equilibrio hidrofílico / lipofílico entre el surfactante y su ambiente físico-químico.

En un sistema surfactante-agua-aceite, la formulación óptima se logra cuando en un barrido unidimensional de cualquier variable de formulación, el sistema presenta una tensión interfacial mínima o ultra-baja, acompañada en general de la aparición de un sistema trifásico en el cual la mayor parte del surfactante está en la fase media. Para el caso de emulsiones agua en crudo es poco corriente poder observar tal sistema trifásico y la inestabilidad se detecta por el progreso de la coalescencia y la evolución de la tensión interfacial dinámica. Para conseguir esta condición en una emulsión W/O que ya contiene un surfactante lipofílico (modelo de los surfactantes naturales en el crudo), se debe añadir un surfactante hidrofílico de peso molecular promedio o bajo (modelo agente deshidratante) de manera que el parámetro característico de la mezcla produzca una emulsión inestable. La formulación óptima es independiente de la concentración de surfactante y de la cantidad de la fase media, el surfactante es atrapado en una microemulsión.

Por lo general, los desemulsionantes comerciales son mezclas de varios componentes que tienen estructuras químicas diferentes y materiales poliméricos, así como una amplia distribución de peso molecular. Están conformados por un 30 a 50% de materia activa (surfactantes) más la adición de solventes adecuados, tales como nafta aromática y alcoholes.

Los surfactantes tienen tres efectos fundamentales una vez adsorbidos en la interfase agua-aceite: uno es la inhibición de la formación de una película rígida, otro el debilitamiento de la película volviéndola rompible y el más importante, el cambio en la formulación del sistema para alcanzar la condición de  $SAD = 0$ .

### **Método Térmico**

La manera ideal de tratar el crudo es sin aplicación de calor; sin embargo, frecuentemente el tratamiento lo requiere para acelerar la separación. El calor no separa los elementos de una emulsión por sí mismo, pero ayuda de varias maneras.

El calor hace que las gotas de agua aceleren su movimiento y choquen entre sí con mayor fuerza y frecuencia. Cuando las gotas chocan, la película constituida por el agente emulsificante que las recubre se rompe, dando origen a la formación de gotas más grandes y pesadas que son vencidas por la fuerza gravitacional y caen sedimentándose.

El calor disminuye la viscosidad del crudo permitiendo a las gotas de agua sedimentarse más fácilmente. El calor acelera la acción química del agente emulsificador de la película que recubre las gotas, la cual es rígida, pero se expande hasta romperse con la aplicación de calor, permitiendo a las gotas combinarse entre sí, caer y sedimentarse.

### **Método Eléctrico**

La aplicación de un alto voltaje eléctrico es frecuentemente un principio efectivo para el rompimiento de la emulsión; este se basa en la teoría que las gotas de agua tienen una carga asociada y cuando se les aplica un campo eléctrico las gotas se mueven rápidamente colisionan unas con otras y coalescen.

El campo eléctrico también causa disturbios en la película interfacial por ordenamiento de las moléculas polares, por eso se rompe la película interfacial y se mejora la coalescencia. El sistema eléctrico consta de un transformador y unos electrodos que proporcionan el alto voltaje; los electrodos son colocados de tal forma que el campo se genere en dirección perpendicular al flujo, la distancia entre los electrodos se diseña de forma ajustable para variar la intensidad del campo según se requiera para el tratamiento de la emulsión.

El tratamiento electrostático raramente es aplicado solo como un método de rompimiento de emulsiones, este generalmente es utilizado en conjunto con la adición de químicos y la temperatura; el uso de tratamiento electrostático puede resultar en una reducción del calor requerido para el tratamiento y bajas temperaturas implican menos costos, menos pérdidas de livianos y reduce los problemas de corrosión.

### **Métodos mecánicos**

La aplicación exclusiva de los métodos mecánicos para romper las emulsiones aumenta cada día con el uso de dispositivos basados en deshidratar el crudo con los desemulsionantes químicos. Entre los cuales tenemos:

#### **✓ Lavado**

Consiste en hacer pasar la emulsión a través de un colchón de agua fresca, para provocar la “disolución” de las gotas de agua suspendidas.

#### **✓ Agitación**

Aunque parezca contradictorio con lo expuesto en la prevención de las emulsiones, este método también se utiliza para romperlas.

#### **✓ Centrifugación**

Se explica por sí solo. Es posible y más eficaz cuanto mayor sea la diferencia de densidades entre el crudo y el agua. Su uso comercial en la industria petrolera no es común a gran escala.

#### **✓ Filtrado**

Consiste en hacer pasar la emulsión a través de un medio adecuado que retenga las partículas de agua y promueva su retención y por consiguiente su decantamiento.