

**ADECUACION DE TANQUES EN LAS ESTACIONES TISQUIRAMA Y SAN  
ROQUE PARA EL AUMENTO DE SU CAPACIDAD DE DESHIDRATACION DE  
CRUDO Y CUMPLIMIENTO DEL PARAMETRO DE CALIDAD BS&W**

**DANIEL RICARDO SILVA ARCHILA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIA DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2014**

**ADECUACION DE TANQUES EN LAS ESTACIONES TISQUIRAMA Y SAN  
ROQUE PARA EL AUMENTO DE SU CAPACIDAD DE DESHIDRATACION DE  
CRUDO Y CUMPLIMIENTO DEL PARAMETRO DE CALIDAD BS&W**

**DANIEL RICARDO SILVA ARCHILA**

**Trabajo de grado modalidad Práctica Empresarial presentado para optar el  
título de: Ingeniero químico**

**Director**

**Dr. Fredy Avellaneda**

**Ingeniero Químico Dr.Sc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIA DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2014**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	12
1 OBJETIVOS .....	15
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	15
2 MARCO TEORICO .....	16
2.1 ESTACIONES DE SERVICIO .....	16
2.1.1 Recolección. ....	16
2.1.2 Separación Gas Líquido.....	16
2.1.3 Depuración.....	17
2.1.4 Medición.....	17
2.1.5 Deshidratación. ....	17
2.1.6 Almacenamiento. ....	18
2.2 TRATAMIENTOS UTILIADOS PARA DESHIDRATACION DE CRUDOS.....	18
2.2.1 Gravitacional. ....	18
2.2.2 Químico.....	21
2.2.3 Adición de Calor.....	21

2.2.4	Electrostático .....	22
3	METODOLOGÍA .....	23
3.1	DETERMINACION DE LA TEMPERATURA ADECUADA DE DESHIDRATACION .....	23
3.1.1	Criterio de Selección.....	23
3.1.2	Procedimiento.....	24
3.2	CALCULO DE TANQUES DESHIDRATADORES .....	26
3.2.1	Criterios de Diseño.....	27
3.2.2	Cálculo de la Velocidad de Sedimentación .....	27
3.2.3	Cálculo del Tiempo de Residencia.....	27
3.2.4	Cálculo del Tiempo de Sedimentación.....	28
3.2.5	Cálculo de la Capacidad de Tratamiento del Tanque .....	29
3.3	DISEÑO DEL BRAZO DISTRIBUIDOR.....	30
3.3.1	Principio de Relación de Áreas .....	30
3.3.2	Criterios de Diseño.....	31
3.3.3	Selección de la Configuración, Tamaño y Cantidad de Orificios Dispersores.....	31
4	RESULTADOS: PRESENTACION, ANALISIS Y DISCUSION .....	33
4.1	TEMPERATURA ADECUADA DE DESHIDRATACION .....	34

4.2	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO DE LOS TANQUES DESHIDRATADORES .....	37
4.3	RESULTADOS DISTRIBUIDORES DE FLUJO .....	40
5	CONCLUSIONES .....	45
6	RECOMENDACIONES .....	46
	CITAS BIBLIOGRAFICAS.....	47
	BIBLIOGRAFÍA.....	51

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Flujos Volumétricos en Campo Actuales de la Estación Tisquirama .....	24
Tabla 2: Volumétricos Utilizados para el Estudio de Deshidratación a Nivel de Laboratorio. ....	24
Tabla 3: Resultados de Viscosidad. Pruebas de Laboratorio ICP vs. Modelo Crudo Llanos Orientales.....	25
Tabla 4: Dimensiones del Tanque Deshidratador Estación Tisquirama.....	26
Tabla 5: Dimensiones Tanques de Almacenamiento Estación San Roque. ....	26
Tabla 6: Resultados Viscosidad vs. Temperatura de Deshidratación Mezcla de Crudos 87-13 .....	34
Tabla 7: Resultados Contenido de Agua en las Muestras luego del Proceso de Deshidratación. [26] .....	34
Tabla 8: Viscosidades para las mezclas de crudo Tisquirama calculadas con el modelo utilizado para el crudo de los Llanos Orientales.....	36
Tabla 9: Capacidades de Tratamiento de Crudo vs. Temperatura Estación Tisquirama.....	37
Tabla 10: Capacidades de Tratamiento de Crudo vs. Temperatura Estación San Roque. ....	37
Tabla 11: Análisis de Sensibilidad Factor de Diseño vs. Capacidad de Tratamiento de Crudo Estación Tisquirama.....	39

Tabla 12: Análisis de Sensibilidad Factor de Diseño vs. Capacidad de Tratamiento de Crudo Estación San Roque.....39

Tabla 13: Resultados Criterio Principio de Relación de Áreas Estación Tisquirama. ....42

Tabla 14: Resultados Criterio Principio de Relación de Áreas Estación San Roque. ....42

Tabla 15: Resultados Condiciones de Operación Brazo Distribuidor Estación Tisquirama.....43

Tabla 16: Resultados Condiciones de Operación Brazo Distribuidor Estación San Roque. ....43

## RESUMEN

**TITULO:** ADECUACIÓN DE TANQUES EN LAS ESTACIONES TISQUIRAMA Y SAN ROQUE PARA EL AUMENTO DE SU CAPACIDAD DE DESHIDRATACION DE CRUDO Y CUMPLIMIENTO DEL PARÁMETRO DE CALIDAD BS&W\*

**AUTOR:** DANIEL RICARDO SILVA ARCHILA\*\*

**PALABRAS CLAVE:** BS&W, emulsión, viscosidad, grados API, floculación, coalescencia, sedimentación, deshidratación.

### DESCRIPCIÓN

El petróleo crudo con el propósito de ser comercializado y refinado debe contar con ciertos parámetros de calidad, entre ellos se encuentra el contenido de BS&W que básicamente se refiere a la cantidad de agua presente en la emulsión. Las estaciones Tisquirama y San Roque son estaciones de servicio que entre sus principales funciones se encuentra deshidratar el petróleo de tal manera que en los crudos de salida se garantice un contenido de agua menor a 0,5 % vol. Actualmente las estaciones anteriormente nombradas tienen dificultades para deshidratar de manera adecuada el petróleo, pues procesan crudos pesados de altas viscosidades y grados API muy similares al del agua, presentándose la necesidad de reprocesar los crudos en otras estaciones con el propósito de cumplir a cabalidad el parámetro de calidad referente al BS&W.

El presente trabajo tiene como finalidad configurar un sistema eficiente que garantice un aumento en la capacidad de deshidratación de crudo de cada una de las estaciones y un BS&W en los crudos de salida menor al 0,5% vol. mediante la adecuación de un tanque de almacenamiento en cada estación como tanque deshidratador; que favorezca los fenómenos de floculación, coalescencia y sedimentación del agua presente en el crudo con el aumento de la temperatura de tratamiento y el diseño e implementación de un brazo distribuidor de flujo que beneficie los fenómenos gravitacionales que ocurren en el tanque.

---

\* Proyecto de grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Fredy Avellaneda, Ingeniero Químico Dr. Sc.

## SUMMARY

**TITLE:** ADAPTATION OF TANKS IN THE STATIONS OF SAN ROQUE AND TISQUIRAMA IN ORDER TO INCREASE THEIR CAPACITY OF CRUDE OIL DEHYDRATION AND THE COMPLIANCE OF THE QUALITY PARAMETER BS&W.\*

**AUTHOR:** DANIEL RICARDO SILVA ARCHILA\*\*

**KEY WORDS:** BS&W, emulsion viscosity, API degrees, flocculation, coalescence, sedimentation, dehydration.

### DESCRIPTION

Crude oil with the purpose of being commercialized and refined must have certain quality parameters among which we find the BS&W content that basically refers to the quantity of the water required in the emulsion. The stations of San Roque and Tisquirama, are service stations that among their main functions have to dehydrate the oil so that in the crude output is guaranteed the containing of water in less than 0.5% vol. Currently, the previously mentioned stations have difficulty to properly dehydrate oil, since the heavy crude is processed for high viscosities and degrees API very similar to the water, presenting the need to reprocess crude at other stations in order to fully meet the quality parameter regarding the BS&W.

This paper aims to set up an efficient system that ensures an increase in crude oil dehydration capacity of each of the stations and BS&W in the crude output that is less than 0.5% vol. by adapting a storage tank at each station as a drying tank that favors flocculation phenomena, coalescence and sedimentation of the water present in the crude with the increasing of the treatment temperature and the design and implementation of a flow distributor arm that benefit the gravitational phenomena that occur inside the tank.

---

\* Undergraduate Project.

\*\* Physiochemical Engineering College. Chemical Engineering School. Director: M.SC. Fredy Avellaneda.

## INTRODUCCIÓN

Las estaciones Tisquirama y San Roque son estaciones de servicio, su función es recibir y tratar los crudos producidos en los campos de la Superintendencia de Operaciones de Mares. Se encuentran ubicadas en la cuenca del Valle medio del río Magdalena al sur del departamento del Cesar, jurisdicción de los municipios de Aguachica y Rio de Oro a 20 minutos de recorrido en automóvil desde el municipio de San Martín.

El crudo proveniente de los pozos de los campos San Roque y Tisquirama es procesado con el propósito de garantizar especificaciones de calidad referentes a su contenido de agua, sal y sedimentos BS&W, o por sus siglas en inglés Basic Sediment and Water. Generalmente la comercialización del petróleo tiene como destino final su destilación en refinerías, estas para poder efectuar su proceso en la forma más viable y económica posible, exigen determinadas condiciones del crudo, especialmente en lo relacionado a su contenido de agua y sedimentos [1]. El BS&W se determina en base a la norma ASTM D4007 [2], y para que el crudo cuente con parámetros de calidad requeridos su porcentaje no debe ser mayor del 0,5% vol. [3]

Tisquirama procesa alrededor de 1400 BFPD, el crudo proviene de 14 pozos del campo Tisquirama y un pozo del campo Caimán, paralelamente la estación San Roque trata el crudo 12 pozos del campo que lleva su mismo nombre y que producen a una tasa de 1900 BFPD.

En las dos estaciones luego de recolectar los crudos en un manifold de entrada, se da tratamiento al petróleo de afluencia en un separador bifásico. Este último dispone la fase gaseosa en un depurador que recupera las trazas de crudo que no lograron ser separadas. La corriente líquida producto de la separación se envía a los tanques de almacenamiento donde se agrega el desemulsificante EC2124A Nalco y el crudo reside largo tiempo, alrededor de 15 horas, con el propósito de

decantar el agua libre no emulsionada. Finalmente cuando los tanques de almacenamiento han drenado la capa acuosa formada producto de la decantación, el crudo se encuentra listo para ser despachado de las estaciones.

Luego de que el petróleo es tratado en las estaciones es enviado vía carro tanque a la estación Ayacucho para su posterior venta, comercialización y/o transporte para refinación.

Actualmente las estaciones Tisquirama y San Roque no logran cumplir el requisito de BS&W, por lo que debe re direccionar parte de su producción para alcanzar los parámetros establecidos de venta y comercialización de crudo. Aproximadamente un 36% de la producción total debe ser enviada a la estación Santos para su reproceso y logro de especificaciones antes de ser despachada hacia Ayacucho. El re direccionamiento y reprocesamiento de este bache de producción se traduce en pérdidas económicas significativas para la Superintendencia de Operaciones de Mares.

Se ha identificado que el motivo por el cual el crudo de las estaciones no está logrando las especificaciones requeridas de BS&W para su venta y comercialización es la carencia de una eficiente etapa de deshidratación. La decantación del agua libre no emulsionada es insuficiente para retirar a cabalidad el porcentaje de agua adecuado para que el crudo cuente con requerimientos de calidad.

El campo Tisquirama produce dos tipos de crudo, un crudo medio de 22 grados API y una viscosidad cinemática de 103,2 mm<sup>2</sup>/s a 40° C y un crudo pesado de 10,2 grados API y viscosidad de 26499 mm<sup>2</sup>/s a 40°C obtenido del pozo Tisquirama 9 [4]. Debido a las dificultades que presenta el crudo del pozo Tisquirama 9, este es mezclado con el crudo medio obteniéndose así una mezcla de 20° API con viscosidad de 198,2 mm<sup>2</sup>/s a 40°C para facilitar su procesamiento.

San Roque por su parte y al igual que la estación Tisquirama con el propósito de dar viabilidad a la campaña programada de perforación y evacuación de crudos de la VIT (Vicepresidencia de Transporte y Logística) requerirá la ejecución de obras tempranas que permitan a las estaciones recibir volúmenes adicionales de producción y asegurar su correcta operación.

Los pronósticos de producción de los campos Tisquirama y San Roque ascienden a 3800 BOPD con 5% BS&W. Siendo consecuente con los altos tiempos de residencia citados anteriormente que debe tener el fluido para su debida separación es necesario optimizar el sistema de deshidratación de las estaciones y garantizar la capacidad del sistema de almacenamiento para su logística de despacho por carro tanque.

Teniendo en cuenta la problemática anteriormente descrita se ve la necesidad de adecuar un tanque en cada una de las estaciones como tanque deshidratador que garantice una etapa eficiente de deshidratación en las estaciones Tisquirama y San Roque y que garantice los parámetros de calidad requeridos de BS&W para la comercialización y refinación del crudo, así como el aumento en su capacidad de tratamiento de efluente de llegada a la estación.

Durante el desarrollo de la presente práctica empresarial, basado en principios ingenieriles, heurísticos y científicos; y bajo la supervisión del Ingeniero Ricardo Andrade Gómez serán configurados los nuevos tanques de deshidratación para las estaciones.

# 1 OBJETIVOS

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Adecuar un tanque en cada una de las estaciones Tisquirama y San Roque como tanque deshidratador para el aumento de la capacidad de deshidratación de crudo de las estaciones y cumplimiento de la normativa requerida de BS&W.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Establecer la temperatura adecuada para la deshidratación de los crudos de la estaciones Tisquirama y San Roque.
- ✓ Establecer un mecanismo que permita la correcta operación de los tanques deshidratadores.

## **2 MARCO TEORICO**

### **2.1 ESTACIONES DE SERVICIO**

En teoría las estaciones de servicio son estaciones de flujo y recolección las cuales deben entregar el crudo en especificaciones de calidad con el objeto que el crudo pueda ser procesado o comercializado. Las plantas de tratamiento de petróleo son el paso previo antes que el petróleo sea enviado a las Refinerías. En estas plantas se acondiciona el petróleo para extraerle el agua, sedimentos y sales, en cantidades tal que pueda ser aceptado por las refinerías. [5]

#### **2.1.1 Recolección.**

La primera es la etapa de recolección, la cual consiste en recaudar en un manifold la producción de los diferentes pozos de un determinado campo a través de tuberías. Estos manifolds o arreglos de tubería se diseñan con el propósito de redistribuir los crudos cuando es necesario someter a mediciones y pruebas la producción individual de un determinado pozo o para re direccionar la producción de todos los pozos en conjunto para su debido tratamiento.

#### **2.1.2 Separación Gas Líquido**

Una vez la producción general es recolectada, la mezcla de fases (gas-líquido) es direccionada al separador de fases. En esta etapa se realiza la separación líquido-gas, la cual se hace efectiva dependiendo de los niveles de presión y temperatura establecidos por las condiciones del pozo de donde provenga el fluido [6]. Luego de la separación la fase gaseosa emerge por la parte superior del separador, y la fase líquida por la parte inferior de este, para posteriormente ser procesado en las etapas restantes de la estación.

### **2.1.3 Depuración.**

La etapa de depuración consiste en el tratamiento de la fase gaseosa que proviene del separador y se lleva a cabo en el scrubber de la estación. Esta etapa tiene como finalidad recolectar las trazas de petróleo en suspensión que no lograron ser aisladas en el separador bifásico, además elimina impurezas como CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S. El líquido recuperado en esta etapa es retroalimentado a la línea de proceso de la estación, y el gas limpio es utilizado para el consumo interno del campo, o dispuesto para ser quemado a través de la Tea.

### **2.1.4 Medición.**

Con el fin de estar al tanto de las condiciones de producción general de la estación y/o producción de cada pozo, así como de las diferentes corrientes que se generan durante el proceso se lleva a cabo la cuarta etapa que consiste en la medición y análisis de las propiedades de las corrientes que convergen en la estación. La información analizada es de vital importancia en la configuración de los diferentes equipos y líneas de flujo de la estación.

### **2.1.5 Deshidratación.**

Posterior y/o paralelamente a la medición de los fluidos y procesamiento de datos, el crudo pasa a la etapa donde es deshidratado y lavado. En esta etapa se alcanza finalmente la especificación del crudo de venta. El tratamiento de emulsiones busca neutralizar de alguna manera la acción del agente emulsificante, ya sea venciendo las fuerzas repulsivas que impiden que las gotas de la fase dispersa se unan, o destruyendo la película emulsionante adherida a las gotas de la fase dispersa. Para el tratamiento de emulsiones se emplean los siguientes métodos típicos de deshidratación de crudo: [7]

- ✓ Tratamiento químico
- ✓ Tratamiento gravitacional
- ✓ Tratamiento térmico
- ✓ Tratamiento eléctrico

### **2.1.6 Almacenamiento.**

Finalmente se lleva a cabo el almacenamiento del petróleo, donde el fluido se acopia en tanques para ser transferido por medio de sistemas de bombeo o despido por carro tanques a refinerías o centros de despacho.

## **2.2 TRATAMIENTOS UTILIADOS PARA DESHIDRATACION DE CRUDOS**

Según el tipo de crudo, la disponibilidad de recursos y viabilidad económica de los procesos, se combinan métodos típicos de deshidratación, químico, térmico, mecánico y eléctrico. En general, se usa una combinación de los métodos térmicos y químicos con uno mecánico/gravitacional o eléctrico para lograr la deshidratación deseada de la emulsión agua/crudo. [8]

### **2.2.1 Gravitacional.**

Actualmente se dispone de varios diseños de equipos para ayudar a la separación por gravedad, entre ellos pueden mencionarse los tanques de lavado o Gun Barrel que son tanques deshidratadores de petróleo-crudo.

En estos dispositivos el tiempo de reposo de la emulsión, necesario para que el proceso de deshidratación y desalado se lleve a cabo, limita el volumen de crudo tratado en la unidad de tiempo; o más simplemente, la capacidad de tratamiento depende del tiempo de reposo.

El tiempo necesario para que las gotas de menor tamaño se asienten es uno de los factores de diseño más importantes. Esto puede ilustrarse mediante la Ley de Stokes:

$$V_s = \frac{1,78 * 10^{-6}(\Delta GE) * d_m^2}{\mu}$$

Ecuación (1)

Donde,

$V_s$  = velocidad de asentamiento, ft/s.

$\Delta GE$  =diferencia de la gravedad especifica entre el agua y el petróleo.

$d_m$ = tamaño de gota, micrómetros.

$\mu$  = viscosidad de la fase continua, cp.

La Ecuación 1 fue desarrollada para explicar el movimiento vertical de una partícula sólida y esférica dentro de un fluido. Sin embargo para este caso se busca explicar el asentamiento de partículas líquidas las cuales no son necesariamente esféricas y se encuentran dentro de otro fluido. De acuerdo con esto se presenta la Ecuación 2 publicada por Hadamard [9], en la cual se incluye un factor de corrección a la ley de Stokes para tomar en consideración los efectos producidos por las fuerzas viscosas de los fluidos presentes en la emulsión crudo-agua, donde  $\mu_d$  y  $\mu_c$  son las viscosidades de la fase dispersa y continua respectivamente,  $V_s$  la velocidad de sedimentación según Stokes que se halla utilizando la Ecuación 1; y  $W_s$  la velocidad de sedimentación de Hadamard.

$$W_s = V_s * \frac{1 + \frac{\mu_c}{\mu_d}}{1 + \frac{2\mu_c}{3\mu_d}}$$

Ecuación (2)

Las Ecuaciones 1 y 2 pueden regir el comportamiento gravitacional de las fases de una emulsión crudo/agua que se trata en equipos tales como tanques Gun Barrel, que tienen la finalidad de lavar y/o deshidratar la emulsión. Se resalta que un Gun Barrel tiene ventajas que incluyen sencillez de operación, ausencia de partes móviles evitando desgastes excesivos y cambio frecuente de piezas, además de costo relativamente económico comparado con otros equipos empleados para la misma función. [10]

### **Tamaño de la Gota de Agua**

Es inusual contar con datos de laboratorio para determinar el tamaño de gota de una emulsión. Si se asume que el tamaño mínimo de una gota que se asentará para determinado corte de agua depende únicamente de la viscosidad del medio o fase continua se tienen las Ecuaciones 3 y 4 de asentamiento que correlacionan estas variables. [11]

$$d_m = 200\mu^{0,25} \text{ Para } \mu < 80 \text{ cP}$$

Ecuación (3)

$$\frac{d}{d_m} = W_C^{0,33}$$

Ecuación (4)

Dónde:

$d_m$  =Diámetro de la gota en micrómetros,  $\mu\text{m}$ .

$\mu$  = viscosidad en centipoise, cP.

$d$ = diámetro de la gota de agua que se asentará para conseguir un corte de agua dado  $W_C$ ,  $\mu\text{m}$ .

$W_C$ = Porcentaje de agua a la entrada del equipo deshidratador, % vol.

Estas ecuaciones deben utilizarse en ausencia de otros datos y valores experimentales, pues están basadas solo en una limitada experiencia.

### **2.2.2 Químico.**

Consiste en agregar a la emulsión ciertos desemulsificantes que neutralizan la acción de los agentes emulsificantes y facilitan la deshidratación del crudo. Los desemulsificantes deben ser aplicados lo más pronto posible para prevenir la formación de emulsión en campo y en puntos estratégicos, se hace con el fin de obtener un mejor rendimiento en la deshidratación del crudo. [12]

Un solo compuesto químico no puede proveer las tres acciones requeridas (atracción, floculación y coalescencia) para la desemulsificación del fluido, es por ello que los desemulsificantes comerciales son una mezcla de varios desemulsificantes básicos (30% a 60%) mas la adición de solventes adecuados tales como nafta aromática pesada, benceno tolueno o alcohol isopropílico para obtener un líquido que fluya a la menor temperatura esperada. [13]

### **2.2.3 Adición de Calor.**

La adición de calor permite un asentamiento más rápido de las partículas de agua, a través de los siguientes efectos [14]:

- ✓ Reduce la viscosidad del aceite.
- ✓ Por expansión del agua, la película que rodea a las gotas se rompe o se reduce su resistencia.
- ✓ Aumenta el movimiento de las moléculas.
- ✓ Permite acentuar la diferencia de densidades entre las partículas de agua y el aceite.

La importancia en la adición de calor a las emulsiones crudo/agua radica principalmente en el aumento de la velocidad de sedimentación de las partículas de agua, que es función principalmente de la diferencia de densidades entre las fases dispersa y continua y la viscosidad del medio, esta afirmación puede ser corroborada analizando la Ecuación 1.

### **2.2.4 Electrostático**

Cuando se tratan altos caudales de emulsión petróleo-agua tienen gran aplicación los equipos de tratamiento eléctrico. Los deshidratadores electrostáticos son equipos que aplican campos eléctricos para acelerar el proceso de acercamiento de las gotas de la fase dispersa y la fase continua.

La deshidratación electrostática es raramente utilizada sola como un método de ruptura de emulsiones. Es generalmente utilizada en conjunto con aplicaciones químicas y térmicas, mayormente como un potenciador de la separación en tanto favorece la coalescencia y por ende el asentamiento. [15]

### **3 METODOLOGÍA**

Se identificaron los posibles factores que afectan de manera negativa el tratamiento de la mezcla y a partir de la combinación de métodos típicos de deshidratación de crudos se configuró el proceso para la desemulsificación de la mezcla de petróleo que garantizará el cumplimiento normativo de BS&W y el aumento de la capacidad de tratamiento de crudo en las estaciones.

#### **3.1 DETERMINACION DE LA TEMPERATURA ADECUADA DE DESHIDRATACION**

De acuerdo al estudio realizado por el Instituto Colombiano del Petróleo se determinó la temperatura adecuada de tratamiento de la mezcla (crudo-agua) de la estación Tisquirama, para lograr obtener un producto con la calidad requerida, un contenido en agua menor a 0,5% vol. El estudio se refiere a la mezcla de crudo medio y crudo pesado con la adición de Rompedor de emulsión EC2124A Nalco que se utiliza en campo, y los volumétricos actuales, es decir una mezcla 87%-13% vol. de crudo medio y pesado respectivamente [16]. A razón que, el crudo de la estación Tisquirama presenta las condiciones más críticas para el tratamiento de su afluente y a fin de que no se contó con información para determinar la temperatura adecuada de deshidratación del crudo de llegada a la estación San Roque, los resultados obtenidos fueron utilizados para las dos estaciones. También se realizó un cálculo de viscosidades para que el proceso de deshidratación ocurra efectivamente con diferentes incrementos de crudo pesado.

##### **3.1.1 Criterio de Selección.**

El criterio para seleccionar las temperaturas adecuadas de deshidratación de las mezclas concurre en que la temperatura seleccionada tenga una viscosidad igual o menor a la viscosidad de la mezcla 87-13 %vol. donde funcione el tratamiento de deshidratación en laboratorio [17].

### 3.1.2 Procedimiento.

En las Tablas 1 y 2 se puede observar las cantidades de cada crudo para la mezcla, los contenidos de agua alimentada por cada uno de ellos y la cantidad de rompedor de emulsión, tanto para campo como para las pruebas en laboratorio. [18]

**Tabla 1: Flujos Volumétricos en Campo Actuales de la Estación Tisquirama.**

CRUDO	Barriles de Crudo/Día BOPD	Barriles de Agua/Día BWPD	Barriles de Crudo+Agua/Día BFPD	Contenido de Agua (%)
Crudo Pesado	140	60	200	30
Crudo Medio	1327	2,8	1329,8	0,21
Mezcla de Crudo	1467	62,8	1529,8	4,1
* Contenido de Rompedor de Emulsión 23 GPD/358ppm, Densidad 1 mg/mL				

**Tabla 2: Volumétricos Utilizados para el Estudio de Deshidratación a Nivel de Laboratorio.**

Crudo	Volumen (mL)	Masa (g)
Crudo Medio	434,6	403
Crudo Pesado	65,4	65
Mezcla Crudo	500	468
Rompedor de Emulsión (358ppm)	0,179	0,179

A razón que, el crudo de las estaciones se procesa a 30°C y no cumple los parámetros requeridos de BS&W, en el estudio fueron evaluadas las temperaturas de 30°C, 60°C, 71°C, y 82°C para la mezcla de crudo 87/13 y se determinaron las viscosidades para cada una de las temperaturas. Luego las mezclas fueron deshidratadas a temperatura constante en baños con calentamiento a las diferentes temperaturas durante un tiempo de 24 horas.

Posteriormente se determinó el contenido de agua en las muestras por el método de destilación y se descartó deshidratar la muestra a una temperatura de 30°C. Dado que la sensibilidad de este método para muestras de crudo con bajo contenido de agua no es buena por el tamaño de muestra estándar usado (10 gramos), fue necesario usar un segundo método con mayor sensibilidad como el Análisis Karl Fisher. [19]

Los crudos y sus mezclas fueron caracterizados y deshidratados en los laboratorios de Reología, Evaluación y Caracterización de Crudos del ICP.

La evaluación del proceso de deshidratación a nivel de laboratorio se realizó únicamente con el volumétrico actual, por lo cual el Instituto Colombiano del Petróleo realizó un ejercicio para modelar el comportamiento de mezclas de crudo medio y pesado en un rango de 70% a 87% de contenido de crudo medio con miras a un incremento en la producción de crudo pesado y poder estimar de forma preliminar las temperaturas requeridas en el proceso de deshidratación. Para obtener las viscosidades requeridas de las mezclas crudo medio/pesado se utilizó un método desarrollado por el ICP y aplicado a mezclas de crudos pesados de los llanos orientales diluidas con nafta. Ese método utiliza los valores de viscosidad de cada crudo y aplica un modelo de mezcla para obtener la viscosidad de cada mezcla a diferentes temperaturas [20]. A continuación en la Tabla 3 se muestran los valores encontrados de viscosidad a las diferentes temperaturas para el crudo deshidratado en laboratorio de la estación Tisquirama y los valores calculados con el modelo utilizado para el crudo de los Llanos Orientales.

**Tabla 3: Resultados de Viscosidad. Pruebas de Laboratorio ICP vs. Modelo Crudo Llanos Orientales**

Muestra	Viscosidad (cP) vs. Temperatura (°C)			
	30°C	60 °C	71 °C	82 °C
Laboratorio	427	79,8	50,2	33,7
Llanos Orientales	404,1	78,7	50	33,7

### 3.2 CALCULO DE TANQUES DESHIDRATADORES

De acuerdo a las dimensiones de los tanques obtenidas en campo y presentadas en las Tablas 4 y 5 se calcularon las capacidades de tratamiento de crudo presentes en las geometrías de cada uno de ellos. Posteriormente para la estación San Roque se eligió un tanque para ser adecuado como deshidratador de la estación. En Tisquirama no se realizó tal elección ya que en la estación se cuenta con un tanque apropiado (un Gun Barrel el cual no está adecuado como tal) para adecuarlo como deshidratador.

**Tabla 4: Dimensiones del Tanque Deshidratador Estación Tisquirama.**

PARÁMETRO	TANQUE
	GUN BARREL
Diámetro del Tanque (ft)	25
Altura del Tanque (ft)	18,09
Volumen Nominal del Tanque (Bls)	1444,32
Altura boquilla de entrada (ft)	1,60
Altura del rebose (ft)	17,31
Altura Efectiva del Tanque (ft)	15,71
Área Transversal del Tanque (ft <sup>2</sup> )	490,87

**Tabla 5: Dimensiones Tanques de Almacenamiento Estación San Roque.**

PARÁMETRO	TANQUE	
	TK-86	TK-88
Diámetro del Tanque (ft)	20,98	29,74
Altura del Tanque (ft)	21,49	35,38
Volumen Nominal del Tanque (Bls)	1000	3000
Altura Boquilla de Entrada (ft)	3,71	1,32
Altura del Rebose (ft)	19,49	32,39
Altura Efectiva del Tanque	17,60	31,07
Área Transversal del Tanque (ft <sup>2</sup> )	341,95	692,79

### 3.2.1 Criterios de Diseño

El diseño de tanques Gun Barrel basan su diseño principalmente en tres principios: [21]

- ✓ El tiempo de residencia debe ser mayor al tiempo de sedimentación,  $t_r > t_s$ .
- ✓ La velocidad de sedimentación debe ser mayor a la velocidad de flujo,  $V_s > V_f$ .
- ✓ El flujo de salida en el distribuidor debe ser laminar, Reynolds  $< 2$ .

### 3.2.2 Cálculo de la Velocidad de Sedimentación

Para la determinación de velocidad de sedimentación de las gotas de agua se utilizó la Ecuación 1 de Navier Stokes. Se descartó realizar el cálculo por la ecuación corregida de Hadamard (Ecuación 2) ya que el factor de corrección que su ecuación propone resulta un valor mayor que la unidad. Esta consideración nos permite un mayor margen de seguridad en el diseño del tanque.

Se recomienda tomar como el mínimo diámetro de la gota a removerse un valor de 500  $\mu\text{m}$ . [22]. Para efectos del cálculo se tomó un valor de 600  $\mu\text{m}$ .

### 3.2.3 Cálculo del Tiempo de Residencia.

El dimensionamiento de un tanque Gun Barrel se realiza en función de la altura del colchón de aceite [ $h_{oil}$ ], la cual es determinada según criterio del diseñador, generalmente se considera el 60% de la altura efectiva del tanque. El termino altura efectiva del tanque se refiere a la distancia operable donde se encuentra el colchón de agua y el colchón de crudo, esta distancia se delimita por la altura a la cual entra el fluido y el rebose del tanque.

.El tiempo de residencia se determinó mediante la utilización de la Ecuación 5.

$$t_r = \frac{V_{oil}}{Q_m} = \frac{h_{oil}A}{Q_m}$$

Ecuación (5)

Donde,

$t_r$ : Tiempo de Residencia, [s]

$V_{oil}$ : Volumen colchón de aceite, [ft<sup>3</sup>].

$Q_m$ : Caudal de la mezcla, en la capa de crudo, [ft<sup>3</sup>/s].

$h_{oil}$ : Altura de la capa de crudo, [ft].

$A$ : Área transversal de sedimentación del Tanque, [ft<sup>2</sup>]

### 3.2.4 Cálculo del Tiempo de Sedimentación.

El tiempo de sedimentación fue determinado de acuerdo a la Ecuación 6.

$$t_s = \frac{h_{oil}}{v_s}$$

Ecuación (6)

Dónde:

$h_{oil}$ : Altura colchón de aceite, [ft].

$v_s$  = velocidad de sedimentación, [ft/s].

### 3.2.5 Cálculo de la Capacidad de Tratamiento del Tanque

Para igualar el tiempo de retención y sedimentación, se emplea un factor de seguridad  $F_s$ . Por criterio de diseño se asume que el 70% del tiempo de retención es igual al tiempo de sedimentación. Se presenta en la Ecuación 7 la igualdad que representa este heurístico.

$$F_s \cdot t_r = t_s$$

Ecuación (7)

Dónde:

$F_s$  = Factor de Seguridad

$t_r$  = Tiempo de Residencia, [s].

$t_s$  = Tiempo de Sedimentación, [s]

Para cumplir el criterio de diseño que el Tiempo de Residencia sea mayor que el Tiempo de Sedimentación, se tiene que el caudal de crudo que se puede tratar en un tanque deshidratador es función principalmente del área y velocidad de sedimentación. A continuación se demuestra matemáticamente que la altura del tanque de lavado no tiene efecto alguno en el cálculo de sedimentación.

Reemplazando la Ecuación 5 y 6 en la Ecuación 7 se tiene que:

$$\frac{\text{Área Sedimentación} * \text{Altura}}{\text{Caudal en colchón crudo}} (FS) = \frac{\text{Altura}}{\text{Velocidad Sedimentación}}$$

$$\text{Área Sedimentación} * \text{Velocidad Sedimentación} * (FS) = \text{Caudal en colchón crudo}$$

$$\text{Área Sedimentación} * \text{Velocidad Sedimentación} * (FS) = \text{Capacidad de Tratamiento}$$

Ecuación (8)

### 3.3 DISEÑO DEL BRAZO DISTRIBUIDOR

La deshidratación de las emulsiones de aceite y agua presentes en un fluido es altamente dependiente del número de puntos de inyección, entonces el tipo de distribuidor es un factor importante que influencia la eficiencia de la separación de la emulsión [23]. En el diseño de distribuidores se pueden evaluar diferentes geometrías, el objetivo principal es asegurar una distribución de flujo homogénea dentro del tanque, para evitar canalizaciones o conificación del flujo ascendente.

De acuerdo a las razones aquí expuestas se seleccionó la configuración del brazo distribuidor para los tanques deshidratadores de las estaciones Tisquirama y San Roque.

#### 3.3.1 Principio de Relación de Áreas

Los distribuidores internos de flujo basan su diseño en el principio de relación de áreas, la cual recomienda que el área de entrada del fluido debe ser menor o igual a la sumatoria de áreas de los tubos distribuidores [25], como se muestra a continuación:

$$A_{BP} \leq \sum A_{BS} \leq \sum A_{BT} \leq \sum A_O$$

Ecuación (9)

Dónde:

$A_{BP}$  = Área transversal del brazo distribuidor.

$A_{BS}$  = Área transversal de los brazos secundarios.

$A_{BT}$  = Área transversal de los brazos terciarios.

$A_O$  = Área transversal de los orificios distribuidores.

### 3.3.2 Criterios de Diseño

- ✓ La velocidad lineal de flujo en los orificios de distribución no debe exceder 1ft/s.
- ✓ La velocidad máxima permitida en los brazos de distribución es 3ft/s. [24]
- ✓ La presión de descarga del flujo en los orificios debe ser mayor a la presión de la columna de fluido.

Los criterios de diseño citados anteriormente pueden ser calculados mediante el uso de un software de simulación hidráulica.

**Diámetro del Baffle Distribuidor Central:** Se debe asegurar que el perímetro del baffle, debe ser mayor a la suma de los diámetros de los brazos que se derivan de él.

### 3.3.3 Selección de la Configuración, Tamaño y Cantidad de Orificios Dispersores

Se seleccionó la configuración de los orificios y su tamaño adecuado de tal manera que se cumplan los criterios establecidos.

Con la ayuda de un software de diseño se determinó la longitud de los brazos secundarios y terciarios, además de los diámetros de los baffles colectores. Estas dimensiones se definen de acuerdo al diámetro del anillo deflector, el cual se instala en este tipo de recipientes para evitar pérdidas de crudo por arrastre al momento de drenar los tanques. Es necesario tener en cuenta a la hora de realizar el diseño los avances de los accesorios requeridos para las conexiones (bridas, Weldolet, Niples y diámetros de los Baffles colectores) para realizar una distribución uniforme de los orificios.

Se asume que el flujo por cada uno de los orificios es igual. Una vez realizados los cálculos se define el número de orificios adecuado en los brazos terciarios del sistema de distribución.

Se seleccionó un diámetro de orificio adecuado con el objetivo de favorecer el contacto de las gotas de la fase acuosa con el agua presente en el colchón de agua para acelerar los fenómenos de floculación, coalescencia y sedimentación.

#### 4 RESULTADOS: PRESENTACION, ANALISIS Y DISCUSION

Se identifica que los factores que afectan de manera negativa el tratamiento de la mezcla de crudo que converge en cada una de las estaciones son los siguientes:

- ✓ Baja temperatura del sistema de tratamiento térmico.
- ✓ Bajos tiempos de residencia debidos a la capacidad instalada actual de la estación.
- ✓ Altas cantidades de agua libre presente en los crudos pesados (alrededor de 60 BPD) con relación al contenido de agua de los crudos medianos (alrededor de 2,8 BPD).
- ✓ Grados API de los crudos pesados muy similares al del agua.

Por viabilidad económica, sencillez de la operación y aplicación de la tecnología se optó por la adecuación de un tanque para cada estación como tanque deshidratador, complementado por un sistema de adición de calor como etapa de deshidratación del petróleo-crudo en las estaciones. Con la configuración de esta nueva etapa de tratamiento se garantiza entregar el crudo en especificaciones para venta, comercialización y refinación acorde a los parámetros de calidad de BS&W y aumentar la capacidad de tratamiento de crudo de cada estación.

#### 4.1 TEMPERATURA ADECUADA DE DESHIDRATACION

En la Tabla 6 se presentan los resultados de la caracterización realizada para las viscosidades de la mezcla 87/13% vol. crudo medio/crudo pesado.

**Tabla 6: Resultados Viscosidad vs. Temperatura de Deshidratación Mezcla de Crudos 87-13**

Muestra	Velocidad de Deformación (s-1)	Viscosidad (cP) vs. Temperatura(°C)				°API
		30°C	60°C	71°C	82°C	
Mezcla de Crudo 87/13	100	427	79,8	50,2	33,7	19,3

En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos para el contenido de agua de cada mezcla deshidratada:

**Tabla 7: Resultados Contenido de Agua en las Muestras luego del Proceso de Deshidratación. [26]**

Ensayo	Temperatura	% BS&W Tope (Agua por Destilación)	% BS&W Tope (Análisis Karl Fisher)
1	60°C (140°F)	0,1	-
2	71°C (160°F)	0,1	-
3	60°C (140°F)	0,1	0,38
4	55°C (131°F)	0,1	0,53

Se observó que los valores de contenido de agua a las temperaturas de 60°C y 71°C cumplen con los requerimientos de BS&W, es decir son inferiores a 0.5%. Dado que fue posible conseguir la especificación de contenido de agua de la mezcla de crudo a las temperaturas de 60°C y de 71°C, se realizó la deshidratación de la mezcla a una temperatura de 55°C. Por decisión consignada

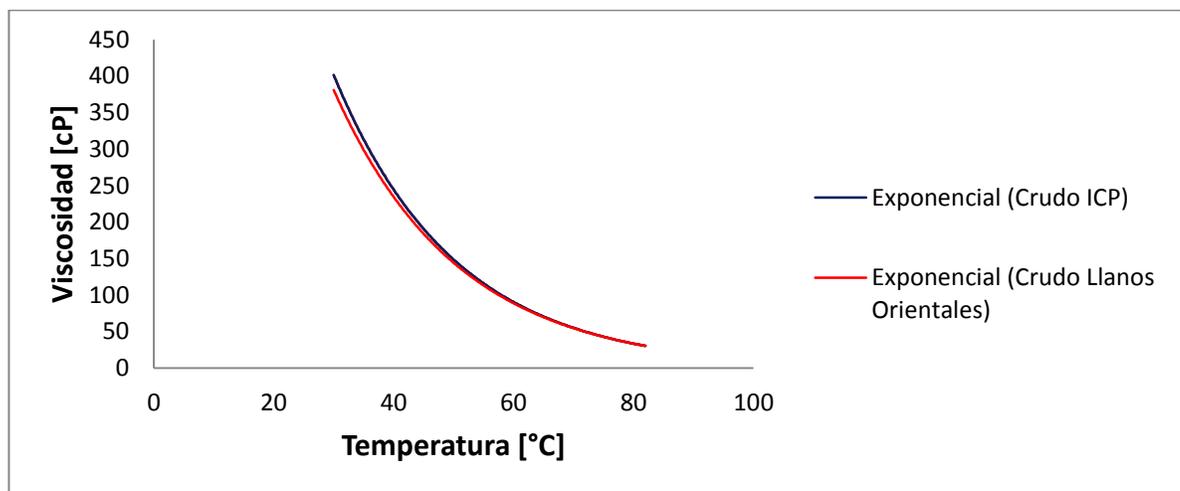
en el estudio de deshidratación realizado por el Instituto Colombiano del Petróleo fue descartada de la experimentación la temperatura de 82°C.

Cómo se observa en la Tabla 7, la mezcla de crudo medio/pesado 87/13% vol. a una temperatura de deshidratación mayor a 55°C está cerca de cumplir con la especificación de contenido de agua y sedimentos; y a 60°C se asegura por completo el cumplimiento del parámetro de BS&W.

Según el criterio de selección consignado en el numeral 3.1.1 tenemos entonces que la temperatura adecuada de deshidratación para la mezcla 87/13%vol es 60°C y por consiguiente es la adecuada para deshidratar los crudos de las estaciones Tisquirama y San Roque.

A continuación en la Grafica 1 se muestra que el ajuste del modelo de temperatura vs. Viscosidad del Instituto Colombiano del Petróleo y el utilizado para los crudos de los Llanos Orientales es adecuado para calcular las viscosidades de las mezclas del crudo de la estación Tisquirama.

**Grafica 1: Modelo de Viscosidades. Pruebas de Laboratorio ICP vs. Modelo Crudo Llanos Orientales**



La Tabla 8 presenta los resultados de las viscosidades calculadas para las diferentes mezclas de crudo medio y crudo pesado.

**Tabla 8: Viscosidades para las mezclas de crudo Tisquirama calculadas con el modelo utilizado para el crudo de los Llanos Orientales.**

% Crudo Medio	Temperatura (°C) vs. Viscosidades Mezclas (cP)						
	25 °C	30 °C	55 °C	60 °C	66 °C	71 °C	82 °C
0	242577	137815	13018	8782	5817	3951	1950
70	1441,9	983,5	207,8	161,5	124,4	97,6	63,1
77,5	947,3	656,6	148,2	116,5	90,8	72	47,5
78	921,8	639,3	145	114	89	70,6	46,7
79,5	849,8	591,11	135,8	107	83,7	66,6	44,2
80	827,2	576	132,9	104,8	82	65,3	43,4
81,6	759,3	530,4	124	98,1	76,9	61,4	40,9
82	743,4	519,7	121,9	96,4	75,7	60,4	40,3
83	705	493,9	116,8	92,5	72,7	58,1	38,9
84,3	658,5	462,4	110,6	87,7	69,1	55,3	37,1
85	634,9	446,4	107,3	85,3	67,2	53,9	36,2
86	602,7	424,7	102,9	81,9	64,6	51,9	35
87	572,4	404,1	98,8	78,7	62,2	50	33,7

Conforme al numeral 3.1.1 el criterio para seleccionar las temperaturas adecuadas para cada mezcla es que a la temperatura de deshidratación la mezcla tenga una viscosidad igual o menor a la viscosidad de la mezcla 87-13 a la temperatura adecuada de deshidratación, es decir, 79,8 cP, donde funcionó el tratamiento de deshidratación en laboratorio.

De acuerdo a lo anterior un incremento en la producción de crudo pesado a 300 BPD (81.6% crudo medio) podría ser deshidratado con una temperatura de 66°C, dado que presenta una viscosidad a esa temperatura de 76,9 cP. Lo mismo ocurre para las mezclas de 350 BPD de crudo pesado (79,5% crudo medio) y 400 BPD (77,5% crudo medio) las cuales a una temperatura de 71°C presentan viscosidades menores a 79,8 cP.

## 4.2 CAPACIDAD DE TRATAMIENTO DE LOS TANQUES DESHIDRATADORES

A continuación se presentan en las Tablas 9 y 10 los resultados obtenidos a partir de los cálculos elaborados con las Ecuaciones 1, 5, 6, 7 y 8 para los dos casos planteados.

**Tabla 9: Capacidades de Tratamiento de Crudo vs. Temperatura Estación Tisquirama.**

RESULTADOS		
PARAMETRO	ACTUAL	FUTURA
Velocidad de sedimentación (ft/s)	$9,066 \cdot 10^{-5}$	$5,39 \cdot 10^{-4}$
Velocidad de flujo (ft/s)	$5,441 \cdot 10^{-5}$	$3,23 \cdot 10^{-4}$
Tiempo de Residencia (h)	48,13	8,10
Tiempo de Sedimentación (h)	28,88	4,86
Factor de Diseño	0,6	0,6
Capacidad de Tratamiento de Crudo (BPD)	410,96	2441,66

**Tabla 10: Capacidades de Tratamiento de Crudo vs. Temperatura Estación San Roque.**

PARAMETRO	RESULTADOS			
	TK-88 (3000 BIs)		TK-86 (1000 BIs)	
	Actual	Futura	Actual	Futura
Velocidad de Sedimentación (ft/s)	$9,066 \cdot 10^{-5}$	$5,386 \cdot 10^{-4}$	$9,066 \cdot 10^{-5}$	$5,38 \cdot 10^{-4}$
Velocidad de Flujo (ft/s)	$6,347 \cdot 10^{-5}$	$3,771 \cdot 10^{-4}$	$6,347 \cdot 10^{-5}$	$3,77 \cdot 10^{-4}$
Tiempo de Residencia (h)	81,58	13,73	47	7,91
Tiempo de Sedimentación (h)	57,11	9,61	32,9	5,54
Factor de Diseño	0,7	0,7	0,7	0,7
Capacidad de Tratamiento (BOPD)	676,67	4020,36	338,21	2009,42

A partir de los resultados plasmados en la Tablas 9 se observa que al implementar un método de adición de calor, para garantizar una temperatura de 60°C en el proceso, la capacidad de tratamiento de crudo en la estación Tisquirama aumenta de 410,96 BPD a 2441,66 BPD lo cual representa un aumento en capacidad de

tratamiento de 2030,7 BPD, y una disminución significativa de los tiempos de residencia y sedimentación de 83,17%.

Como ya se había mencionado anteriormente la estación San Roque cuenta con la posibilidad de adecuar uno de sus tanques de almacenamiento como tanque deshidratador de la estación. Como se observa en la Tabla 10 el tanque TK-88 de 3000 Bls de capacidad nominal volumétrica cuenta con una capacidad de tratamiento de crudo de 4020,36 BOPD, mientras que el tanque TK-86 podría solo tratar un caudal de 2009,42 BOPD. Se decidió que la mejor opción es adecuar el tanque TK 86 de 1000 Bls de capacidad volumétrica nominal como tanque deshidratador de San Roque, para garantizar un caudal de tratamiento de crudo acorde al volumen de almacenamiento de la estación, para el presente caso 2009,42 Bls de crudo tratados diariamente y un almacenaje de 3000 Bls garantizados por el tanque TK-88.

En el diseño de sistemas de deshidratación se tiene como criterio que el factor de seguridad ( $F_s$ ) tome un valor de 0,7 o 0,8. Analizando los resultados se observa que el factor de seguridad para la estación Tisquirama es 0,6; menor al establecido para los diseños de estos sistemas, esto se debe al requerimiento del cliente en el cual se especifica garantizar un tiempo de residencia de aproximadamente 8 horas, criterio recomendado por Campbell & Company 2004 [27].

Teniendo en cuenta lo anterior se realizó un análisis de sensibilidad para factores de diseño de 0,6 0,7 y 0,8 con el fin de evaluar tiempos de residencia y capacidades máximas de tratamiento de los respectivos tanques deshidratadores en las estaciones.

A continuación en las Tablas 9 y 10 se muestran los resultados.

**Tabla 11: Análisis de Sensibilidad Factor de Diseño vs. Capacidad de Tratamiento de Crudo Estación Tisquirama.**

RESULTADOS			
FACTOR DE DISEÑO	0,6	0,7	0,8
Velocidad de sedimentación (ft/s)	5,39*10-4	5,39*10-4	5,39*10-4
Velocidad de flujo (ft/s)	3,51*10-4	3,97*10-4	4,617*10-4
Tiempo de Residencia (h)	8	7	6
Tiempo de Sedimentación (h)	4,86	4,86	4,86
Capacidad de Tratamiento de Crudo (BPD)	2441,66	2848,61	3255,55

**Tabla 12: Análisis de Sensibilidad Factor de Diseño vs. Capacidad de Tratamiento de Crudo Estación San Roque.**

RESULTADOS			
FACTOR DE DISEÑO	0,6	0,7	0,8
Velocidad de sedimentación (ft/s)	5,39*10-4	5,39*10-4	5,39*10-4
Velocidad de flujo (ft/s)	3,23*10-4	3,77*10-4	4,31*10-4
Tiempo de Residencia (h)	9,23	7,91	6,92
Tiempo de Sedimentación (h)	5,54	5,54	5,54
Capacidad de Tratamiento de Crudo (BPD)	1722,36	2009,42	2296,48

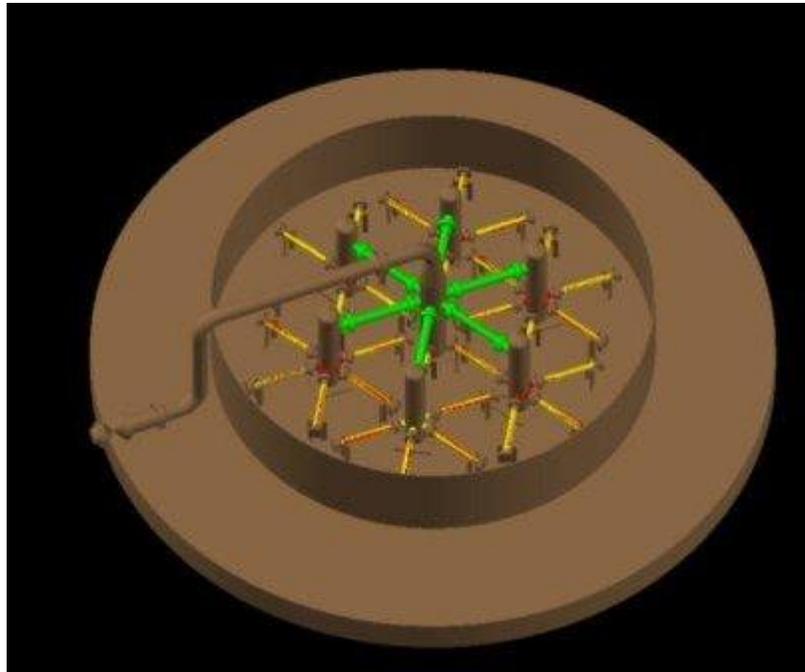
Se concluye que los sistemas de deshidratación de las estaciones Tisquirama y San Roque son adecuados para operar a una capacidad de 2441 BOPD y 2009 BOPD respectivamente.

Es necesario aclarar que según los cálculos realizados y presentados en las Tablas 11 y 12, las estaciones Tisquirama y San Roque pueden llegar a tratar 3255 BOPD y 2296 BOPD en su orden; garantizando una temperatura de 60°C en la corriente de entrada a los tanques deshidratadores y durante las 8 horas en las cuales la emulsión residirá en los tanques.

### 4.3 RESULTADOS DISTRIBUIDORES DE FLUJO

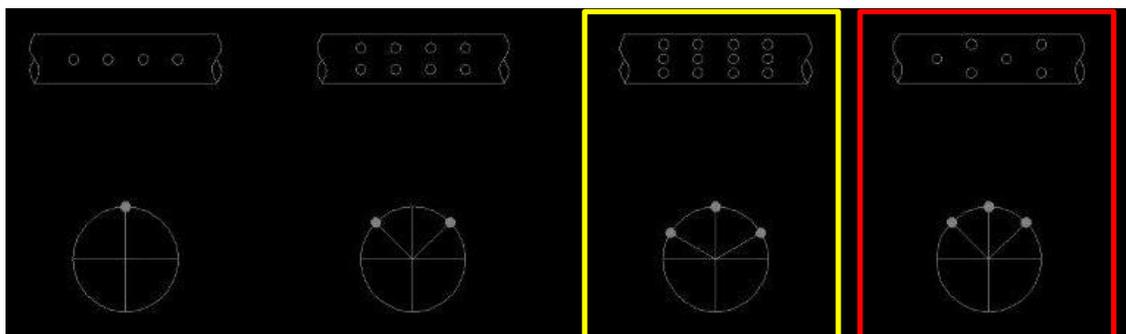
El diseño del distribuidor de flujo seleccionado para esta aplicación es tipo araña, que tiene una configuración eficiente en la dispersión de la mezcla crudo-agua que se llevará a cabo en los tanques. Consta de 6 brazos secundarios con ángulos de  $60^\circ$  entre si y 5 brazos terciarios con ángulos de  $60^\circ$  entre sí y un espacio de  $120^\circ$  entre dos brazos como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1: Configuración Tipo Araña Distribuidores de Flujo en Tanques Deshidratadores.**



La Figura 2 muestra la configuración seleccionada para la distribución de orificios del brazo dispersor de fluido de los tanques deshidratadores de las estaciones, las cuales son las resaltadas en rojo y amarillo para Tisquirama y San Roque respectivamente.

**Figura 2: Configuraciones Distribución de Orificios en los brazos Distribuidores.**



El diámetro seleccionado para el anillo deflector del tanque deshidratador de Tisquirama es 19 ft y para el tanque de la estación San Roque de 16,9 ft. El diámetro de los anillos deflectores aquí referidos obedece a la experiencia de los autores en ingeniería.

La longitud de los brazos del distribuidor de flujo en el tanque de Tisquirama se determino en 2,78 ft y 3,05 ft para los brazos secundarios y terciarios respectivamente. El diámetro de los baffles colectores central y secundario se determino en 12 in y 8 in respectivamente.

En la estación San Roque se determino que la longitud de los brazos para los brazos distribuidores secundarios y terciarios es 1,68 ft y 1,74 ft en su orden, y el diámetro de sus baffles colectores central y secundario se determino en 10 in y 8 in respectivamente.

Aplicando la metodología de relación de áreas se determinaron los diámetros de los diferentes brazos del distribuidor de flujo. A continuación en las Tablas 13 y 14 se muestran los resultados.

**Tabla 13: Resultados Criterio Principio de Relación de Áreas Estación Tisquirama.**

BRAZO	ESTACION TISQUIRAMA			
	DIAMETRO (in)	AREA (in <sup>2</sup> )	CANTIDAD	AREA TOTAL (in <sup>2</sup> )
BRAZO PRINCIPAL	8	50,014	1	50,014
BRAZO SECUNDARIO	4	12,756	6	76,536
BRAZO TERCARIO	2	3,365	30	100,95
ORIFICIOS	0,5	0,196	810	158,76

**Tabla 14: Resultados Criterio Principio de Relación de Áreas Estación San Roque.**

BRAZO	ESTACION SAN ROQUE			
	DIAMETRO (in)	AREA (in <sup>2</sup> )	CANTIDAD	AREA TOTAL (in <sup>2</sup> )
BRAZO PRINCIPAL	6	28,938	1	28,938
BRAZO SECUNDARIO	3	7,402	6	44,412
BRAZO TERCARIO	2	3,365	30	100,95
ORIFICIOS	0,5	0,196	540	105,84

Se observa en las Tablas 13 y 14 que el criterio de relación de áreas es cumplido a cabalidad por ambos distribuidores de flujo, garantizando así que no existirá taponamiento de los mismos y que la distribución de flujo se hará de la manera más adecuada.

A continuación en las Tablas 15 y 16 se presentan los resultados obtenidos en el cálculo de las condiciones de operación de cada brazo distribuidor.

**Tabla 15: Resultados Condiciones de Operación Brazo Distribuidor Estación Tisquirama.**

PARAMETRO	DISTRIBUIDOR DE FLUJO ESTACION TISQUIRAMA			
	BRAZO PRINCIPAL	BRAZO SECUNDARIO	BRAZO TERCARIO	ORIFICIOS
FLUJO (ft <sup>3</sup> /S)	0,10199	0,027825	0,0055652	0,000206
DIAMETRO (ft)	0,665	0,333	0,173	0,0417
VELOCIDAD (ft/s)	0,294	0,319	0,238	0,151
REYNOLDS	40,94	22,29	8,61	1,32
PRESION (PSI)	34,7	34,09	33,9	33,8

**Tabla 16: Resultados Condiciones de Operación Brazo Distribuidor Estación San Roque.**

PARAMETRO	DISTRIBUIDOR DE FLUJO ESTACION SAN ROQUE			
	BRAZO PRINCIPAL	BRAZO SECUNDARIO	BRAZO TERCARIO	ORIFICIOS
FLUJO (ft <sup>3</sup> /S)	0,1374	0,0229	0,00458029	0,0005446
DIAMETRO (ft)	0,50583	0,25583	0,1725	0,041666
VELOCIDAD (ft/s)	0,684	0,445	0,196	0,187
REYNOLDS	72,53	23,87	7,08	1,63
PRESION (PSI)	36,47	35,8	34	32,7

Se puede observar en las Tablas 15 y 16 que las condiciones de operación a las cuales se diseñan los brazos distribuidores de flujo cumplen los criterios requeridos citados en el numeral 3.3.2 para el diseño de brazos distribuidores de flujo en tanques deshidratadores.

Para el cálculo de la presión requerida a la entrada del distribuidor se asume que la densidad de la columna de fluido es la del agua (62,71 lb/ft<sup>3</sup>), y la altura efectiva del tanque es 15,71 ft y 17,89 para los tanques deshidratadores de las estaciones Tisquirama y San Roque respectivamente. Se calculó la cabeza de presión de cada uno de los tanques.

$$\text{Cabeza de Presión Tanque Tisquirama} = 15,71 * 0,433 = 6,8 \text{ psig}$$

$$\text{Cabeza de Presión Tanque San Roque} = 17,89 * 0,433 = 7,74 \text{ psig}$$

Ya que tanto en la estación Tisquirama como en la estación San Roque los tanques son atmosféricos, se debe contemplar la presión equivalente a esta condición (14,7 psi). De lo anterior se deduce que la presión mínima que debe tener el fluido en los orificios de salida de los brazos distribuidores debe ser mayor a 21,5 psi y 22,44 psi en Tisquirama y San Roque, como se menciona en su orden.

Según el chequeo hidráulico que realizado a la línea de llegada de los tanques en un software de simulación hidráulica se obtuvo que la presión de llegada del fluido es de 33,8 y 32,7 respectivamente para los tanques de Tisquirama y San Roque. De lo anterior se concluye que la presión requerida en la salida de los orificios de distribución cumple el criterio citado en el numeral 3.3.2.

## 5 CONCLUSIONES

- ✓ Las adecuaciones establecidas para los tanques (distribuidor de flujo, temperatura de operación igual a 60°C, régimen laminar Reynolds  $< 2$  ; y presión de descarga en los orificios dispersores  $>$  cabeza de presión del tanque) Gun Barrel y TK 86 de las estaciones Tisquirama y San Roque garantizan un aumento de la capacidad de tratamiento de crudo en 5 veces su capacidad actual y un BS&W de 0,38 que es menor al requerido por los parámetros de calidad del crudo en Basic Sediment and Water, pues optimizan los fenómenos interfaciales y gravitacionales que favorecen la deshidratación de la emulsión.
- ✓ El aumento de la temperatura en la etapa de deshidratación de crudo favorece el rompimiento de la película emulsionante que existe alrededor de las gotas de agua, propiciando las condiciones adecuadas para que las gotas se unan y alcancen el tamaño adecuado para que puedan decantar. Con un aumento de la temperatura de 30°C a 60°C se reduce la viscosidad de la emulsión de 427 cP a 79,8 cP y se acentúa la diferencia de densidades entre fases aumentando la velocidad de sedimentación de las gotas de la fase acuosa, lo cual se traduce en una disminución del 83,17% en el tiempo de deshidratación de la emulsión. Con una temperatura de 60°C o mayor se garantiza la adecuada deshidratación de los crudos de las estaciones Tisquirama y San Roque.
- ✓ La implementación del distribuidor de flujo como mecanismo de dispersión de crudo en los tanques deshidratadores favorece los fenómenos de floculación, coalescencia y sedimentación de la fase dispersa, y por consiguiente la deshidratación de la emulsión, pues garantiza que el área de sedimentación presente en la geometría del tanque es utilizada en su gran mayoría.

## 6 RECOMENDACIONES

- ✓ Aplicar una temperatura mayor de 60°C a la mezcla 87/13% vol. es innecesario y se tendría un desperdicio de energía, sin embargo, si se proyecta aumentar la producción de crudo pesado en el campo Tisquirama y/o por algún motivo aumenta el corte de agua de los pozos de producción en cualquiera de las estaciones, el diseño de un sistema de adición de calor con una temperatura mayor a 60°C podría ser beneficioso.
- ✓ Para el cálculo de las temperaturas adecuadas de deshidratación de nuevas mezclas de crudo medio/pesado se recomienda realizar nuevos estudios en laboratorio, ya que los valores reportados en el presente trabajo son una estimación del ajuste de datos de crudos de distintas zonas geográficas del país y las condiciones de las emulsiones pueden variar significativamente.
- ✓ Para el diseño de distribuidores de flujo se aconseja tomar un factor de seguridad que garantice con un margen prudente el principio de relación de áreas, esto con el fin de garantizar el flujo de emulsión a través de los orificios de los brazos distribuidores.
- ✓ Para estudios posteriores se recomienda utilizar un método que permita el cálculo de rompedor de emulsión adecuado una vez se aumente la cantidad de crudo pesado, a fin de que el rompedor de emulsión favorece la deshidratación de la mezcla.

## CITAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] VILLAVICENCIO PALACIOS, Gustavo. Recolección, Transporte y Distribución del Gas Natural y el Crudo. 4 ed. Santa Cruz: U VIRTUAL, 2012. 34 p.
- [2] GALVIS PORTILLA, Yuly Cristina. Estudio de los Procesos de Deshidratación de Crudos y Tratamiento de Aguas de Producción en la Estación PF-2 del Campo Caño Limón. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2007. 14 p.
- [3] ARNOLD, Ken; STEWART, Maurice. Surface Production Operations: Design of Oil-Handling System and Facilities. Volumen 1, Tercera Edición Elsevier. Estados Unidos, 2008.
- [4] Servicios de Laboratorio y Plantas Piloto Laboratorio de Caracterización y Evaluación de Crudos. Análisis ASSAY Tipo I a Tres Muestras de Crudo. Barrancabermeja Centro, 2012. UST UST F 002.
- [5] PEJCICH, Martin y NIZIEWIZ, Facundo. Instalación de Superficies. Escuela de Petróleo Modulo O.T.A. Buenos Aires 2009. 4 p.
- [6] VILLAVICENCIO PALACIOS, Gustavo. Recolección, Transporte y Distribución del Gas Natural y el Crudo. 4 ed. Santa Cruz: U VIRTUAL, 2012. 16 p.
- [7] PARRA, Diego. Definición de Estándares Operativos para los Procesos de Deshidratación y Desalado de Crudo. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2007. 48 p
- [8] SALAGER, Jean Louis y MARFISI Shirley. Deshidratación de Crudo Principios y Tecnología. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Mérida Venezuela. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química, 2004. 14 p.

[9] BARBOSA VARGAS, Sergio y MENDOZA, Marco de Dios. Tecnología Electroestática Dual Frecuency para la Deshidratación y Desalación de Crudos Pesados. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2013. 80 p

[10] BARBOSA VARGAS, Sergio y MENDOZA, Marco de Dios. Tecnología Electroestática Dual Frecuency para la Deshidratación y Desalación de Crudos Pesados. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2013. 89 p

[11] GOMEZ, Mauricio y PARRA, Anderson. Desarrollo de una Herramienta Informática para el Dimensionamiento de Facilidades de Superficie en los Procesos de Separación, Deshidratación y Desalado de Crudo. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2012. 122 p, 146 p.

[12] CAMARGO, Manuel y SOTO, Rubén. Formulación de Producto Demulsificante para Deshidratación de Petróleo Crudo en las Facilidades de Producción del Campo Entrerrios. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, 2012. 24 p.

[13] PARRA, Alexander. Definición de Estándares Operativos para los Procesos de Deshidratación y Desalado de Crudo. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2007. 49 p.

- [14] GARCIA, Alonso y GANTE, Alberto. Diseño de Tanque Deshidratador de 33000 Bls en la Planta Deshidratadora de PEMEX en Naranjos Veracruz. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Tuxpan. Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, 2005. 22 p.
- [15] BARBOSA VARGAS, Sergio y MENDOZA, Marco de Dios. Tecnología Electrostática Dual Frequency para la Deshidratación y Desalación de Crudos Pesados. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2013. 113 p
- [16] Instituto Colombiano del Petróleo. Deshidratación a Escala Laboratorio del Crudo Tisquirama. Piedecuesta, 2012. ID012060010. 2 p.
- [17] Instituto Colombiano del Petróleo. Deshidratación a Escala Laboratorio del Crudo Tisquirama. Piedecuesta, 2012. ID012060010. 8 p
- [18] Instituto Colombiano del Petróleo. Deshidratación a Escala Laboratorio del Crudo Tisquirama. Piedecuesta, 2012. ID012060010. 3 p
- [19] Instituto Colombiano del Petróleo. Deshidratación a Escala Laboratorio del Crudo Tisquirama. Piedecuesta, 2012. ID012060010. 5 p
- [20] Instituto Colombiano del Petróleo. Deshidratación a Escala Laboratorio del Crudo Tisquirama. Piedecuesta, 2012. ID012060010. 6 p
- [21] American Petroleum Institute 421: Design and Operation of Oil Water Separators. Primera Edición. Washington D.C. 1990. 32 p.

- [22] SANABRIA, Johanna y CIFUENTES, Iván. Análisis y Diseño de las Facilidades de Superficie para manejo de Crudos Pesados y Bituminosos (Campo Rubiales). Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2010. 19p.
- [23] ORTIZ, Sandra y ZABALA, Wilson. Diseño de las Principales Facilidades de Superficie para la Deshidratación del Crudo Proveniente de la Formación San Fernando a Escala Piloto. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2009. 105p.
- [24] American Petroleum Institute 2003: Protection Against Ignitions Arising Out of Static Lightning, and Stray Currents. 49 CFR 195.405 (a). Washington D.C. 1998.
- [25] Flamingo Oil S.A.: Memorias de Calculo, Unidad Integral de Tratamiento: Dimensionamiento La Vasija. Bogotá DC, 2007. MC IP UIT 01. 11 p.
- [26] Instituto Colombiano del Petróleo. Deshidratación a Escala Laboratorio del Crudo Tisquirama. Piedecuesta, 2012. ID012060010. 5 p.
- [27] John M Campbell & Company "Oil Production and Processing Facilities". 2004.

## BIBLIOGRAFÍA

American Petroleum Institute 2003: Protection Against Ignitions Arising Out of Static Lightning, and Stray Currents. 49 CFR 195.405 (a). Washington D.C. 1998.

American Petroleum Institute 421: Design and Operation of Oil Water Separators. Primera Edición. Washington D.C. 1990.

ARNOLD, Ken; STEWART, Maurice. Surface Production Operations: Design of Oil-Handling System and Facilities. Volumen 1, Tercera Edición Elsevier. Estados Unidos, 2008.

BARBOSA VARGAS, Sergio y MENDOZA, Marco de Dios. Tecnología Electroestática Dual Frecuency para la Deshidratación y Desalación de Crudos Pesados. Tesis de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2013.

CAMARGO, Manuel y SOTO, Rubén. Formulación de Producto Demulsificante para Deshidratación de Petróleo Crudo en las Facilidades de Producción del Campo Entrerrios. Trabajo de Grado Ingeniero Químico. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, 2012.

Flamingo Oil S.A.: Memorias de Calculo, Unidad Integral de Tratamiento: Dimensionamiento La Vasija. Bogotá DC, 2007. MC IP UIT 01.

GALVIS PORTILLA, Yuly Cristina. Estudio de los Procesos de Deshidratación de Crudos y Tratamiento de Aguas de Producción en la Estación PF-2 del Campo Caño Limón. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2007.

GARCIA, Alonso y GANTE, Alberto. Diseño de Tanque Deshidratador de 33000 BIs en la Planta Deshidratadora de PEMEX en Naranjos Veracruz. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Tuxpan. Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, 2005.

GOMEZ VELANDIA, Mauricio Alexander y PARRA CAMACHO, Anderson. Desarrollo de una Herramienta Informática para el Dimensionamiento de Facilidades de Superficie en los Procesos de Separación, Deshidratación y Desalado de Crudo. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2012.

Instituto Colombiano del Petróleo. Deshidratación a Escala Laboratorio del Crudo Tisquirama. Piedecuesta, 2012. ID012060010.

John M Campbell & Company. Oil Production and Processing Facilities. 2004.

ORTIZ RAMOS, Sandra Viviana y ZABALA GARCESS, Wilson Andrés. Diseño de las Principales Facilidades de Superficie para la Deshidratación del Crudo Proveniente de la Formación San Fernando a Escala Piloto. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2009.

PARRA, Diego. Definición de Estándares Operativos para los Procesos de Deshidratación y Desalado de Crudo. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2007.

PEJCICH, Martin y NIZIEWIZ, Facundo. Instalación de Superficies. Escuela de Petróleo Modulo O.T.A. Buenos Aires 2009.

SALAGER, Jean Louis y MARFISI Shirley. Deshidratación de Crudo Principios y Tecnología. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Mérida Venezuela. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química, 2004.

SANABRIA, Johanna y CIFUENTES, Iván. Análisis y Diseño de las Facilidades de Superficie para manejo de Crudos Pesados y Bituminosos (Campo Rubiales). Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga S.S. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2010.

Servicios de Laboratorio y Plantas Piloto Laboratorio de Caracterización y Evaluación de Crudos. Análisis ASSAY Tipo I a Tres Muestras de Crudo. Barrancabermeja Centro, 2012. UST UST F 002.

VILLAVICENCIO PALACIOS, Gustavo. Recolección, Transporte y Distribución del Gas Natural y el Crudo. 4 ed. Santa Cruz: U VIRTUAL, 2012.