

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE UN  
SEPARADOR TRIFASICO DE FLUIDOS TIPO HORIZONTAL COMO HERRAMIENTA  
DE MARKETING PARA LA EMPRESA PACIFIC PROCESS SYSTEMS ENGINEERING”**

**MILENA LEMUS FONSECA  
WILSON RINCÓN PÉREZ**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD TECNOLÓGICA  
INGENIERIA MECANICA  
BOGOTÁ D.C.  
2012**

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia el sector de hidrocarburos es uno de los más rentables en el país, puesto que es uno de los sectores con mayor crecimiento de utilidades con respecto a otros sectores como son la industria manufacturera y la agricultura.

Prueba de esta rentabilidad es que para este año se estima que el ingreso de la exploración y producción petrolera será de 26,4 billones de pesos, razón por la cual es importante para cualquier empresa que se relacione con este sector posicionarse y darse a conocer ante el gremio de una forma clara y dinámica, es por este motivo que en ocasiones las empresas hacen uso de herramientas de marketing que causen una buena imagen de los productos a ofrecer.

Siendo este el caso de la empresa **PACIFIC PROCESS SYSTEMS ENGINEERING** la cual debido a su corto tiempo de existencia en el mercado colombiano se ve en la necesidad de mostrarse ante las grandes empresas en las diversas ferias realizadas a nivel nacional enfocadas a este sector (XIV congreso colombiano de gas y petróleo y la feria Oil and Gas de octubre del presente año); por esta razón surge la importancia de la fabricación de una herramienta demostrativa que brinde a los clientes la posibilidad de comprobar de una forma rápida y concisa la calidad de los equipos ofrecidos por dicha compañía, en este caso el equipo a construir sería el prototipo de un separador trifásico horizontal completamente funcional que contribuya al proceso de demostración de algunos de los productos y servicios ofertados por la compañía como son la venta, renta de equipos e ingeniería de los procesos de tratamiento de crudo.

Se eligió un separador trifásico horizontal debido a que cuando el petróleo proveniente de los pozos fluye a la superficie se encuentra constituido por una mezcla de gas y agua, razón por la cual es necesario estabilizarlo para eliminar el gas disuelto y deshidratarlo función para la cual se diseñan los separadores puesto que en el proceso es la primera

unidad del procesamiento del crudo en la facilidad de producción, cuyo diseño inadecuado puede reducir la capacidad de toda la facilidad.

Este trabajo se constituye en una guía para el diseño de un separador trifásico horizontal, donde se presenta un análisis técnico mecánico e hidráulico de separadores trifásicos horizontales.

## 1.1 ESTADO DEL ARTE

La principal fuente de energía a nivel mundial se encuentra en el petróleo, el que esta constituido por una mezcla en la que coexisten fases sólidas, liquidas y gaseosas de compuestos denominados hidrocarburos, para realizar el proceso de separación de dichos hidrocarburos existen plantas denominadas facilidades de producción, en las cuales podemos encontrar un conjunto de equipos como son: múltiple de producción, separadores de producción, tratadores térmicos, gun barrels, tanques de almacenamiento, compresores, entre otros, que son los encargados de cumplir con la función de centralizar, separar y estabilizar dicha mezcla.

La finalidad de procesar crudo es obtener una mezcla bajo especificación, para así venderlo comercialmente para ser refinado, para esto es necesario estabilizarlo, es decir realizar la separación adecuada de gas disperso y deshidratarlo. Para llevar a cabo esta separación primaria es necesario hacer uso de equipos especializados que contribuyan al proceso de una forma rápida y eficiente, razón por la cual existen unidades que cumplen con estas especificaciones conocidos comúnmente con el nombre de separadores.

Los separadores trifásicos llamados FWKO (Free Water Knock Out), se utilizan para remover cualquier cantidad de agua libre que este presente en la producción de uno o varios pozos petroleros, estos equipos reciben la mezcla de hidrocarburos provenientes del pozo y la separa en tres fases gas, emulsión y agua libre cada una con diferentes características físicas que contribuyen a una adecuada separación.

Una vez que la mezcla se deja en reposo el agua libre comienza a precipitarse al fondo del recipiente, denominada zona de separación. La fase gaseosa ocupara toda la parte superior y determina la presión del recipiente, y por ultimo la emulsión domina la parte superior de la fase liquida.

Debido a la importancia de este tipo de equipos, existen variedad de empresas las cuales desarrollan, diseño, fabricación y montaje en la industria petrolera, algunas de estas son INSMELEC, SAR ENERGY, FLAMINGOS, empresas que debido a su reconocimiento a

nivel nacional no prestan servicios de fabricación de tipo didáctico para promover y dar a conocer sus marcas.

En Colombia y en Suramérica se encuentran proyectos de grado que se refieren al cálculo y a programas especializados que ayudan al adecuado diseño de los separadores trifásicos horizontales, entre estos trabajos se encuentran **“DESARROLLO DE HERRAMIENTA DE SIMULACION PARA EQUIPOS SEPARADORES DE AGUA LIBRE”** de **Francisco Javier Andrade Rodríguez** Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Magister en Automatización Industrial de la Universidad Nacional de Colombia en este documento a través del uso de un algoritmo soportado en las buenas practicas de ingeniería obtuvo una herramienta de simulación que permite la iteración dinámica de las principales variables, **“SEPARADOR TRIFASICO PROTOTIPO VIRTUAL”** de **Mauricio Melgarejo** Tesis de grado presentada como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico, en este trabajo se logro el desarrollo de un software de un prototipo didáctico virtual. **“DISEÑO DE UN SEPARADOR TRIFASICO HORIZONTAL PARA EL CAMPO SECOYA DEL DISTRITO AMAZONICO”** , en este proyecto se realizo el diseño hidráulico y mecánico para un separador de hidrocarburos con capacidad de 30000 BFPD de Verónica Benítez y Pablo Olmedo para optar por el título de Ingeniero Mecánico, todos estos llevando el diseño a la parte teórica de los equipos y procurando realizar los calculo de una manera sencilla, variada y rápida, con el fin de optimizar los tiempos y los reprocesos a nivel industrial, con la clara idea de un mejoramiento al interior de las compañías.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Es importante realizar una separación adecuada, debido a que las facilidades de superficie que no cuentan con equipos de separación adecuados, se encuentra que gran parte del gas es venteado o quemado. En este proceso partículas de petróleo liviano son arrastradas con el gas, lo que ocasiona una pérdida económica significativa.

Debido a esto es conveniente seleccionar las variables de dimensionamiento de los separadores trifásicos horizontales, para tener una separación efectiva entre los fluidos presentes en el yacimiento. La separación óptima de los fluidos presentes en los diferentes tipos de yacimientos, permite obtener un margen de ganancias mayor a las empresas operadoras, ya que si se realiza una óptima separación de los fluidos presentes en el mismo, se tendrá el mayor provecho económico de los fluidos.

Es por esta razón que surge el interés de la empresa **PACIFIC PROCESS SYSTEMS ENGINEERING** de mostrarse en el gremio de una manera mas dinámica participando en las diferentes ferias y eventos relacionados con el gremio petrolero, a través de herramientas que faciliten didáctica y rápidamente la comprensión del funcionamiento de algunos servicios ofertados por la misma.

Gracias a la realización de un prototipo de un separador trifásico horizontal se podrá demostrar globalmente los diversos servicios que oferta la empresa ya que para la realización de este modelo didáctico se deben ejecutar procesos de cálculos, diseño, fabricación, montaje de tubería y accesorios los cuales representan a grosso modo la razón de ser de la compañía.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseño, construcción e implementación del prototipo de un separador trifásico de fluidos tipo horizontal como herramienta de marketing para la empresa **PACIFIC PROCESS SYSTEMS ENGINEERING**.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

2.2.1 Establecer parámetros de diseño de acuerdo con las necesidades de la empresa y la normativa.

2.2.2 Generar una herramienta para la realización de los cálculos de diseño.

2.2.3 Calcular y seleccionar materiales adecuados para el buen funcionamiento del separador.

2.2.4 Realizar planos de fabricación.

2.2.5 Ejecutar pruebas y realizar manual de operación.

### 3. MARCO TEÓRICO

**3.1 FACILIDAD DE PRODUCCIÓN:** conjunto de equipos mediante los cuales se realiza la separación de tres o de dos fases de un campo de petróleo o de gas, y además se implementa el tratamiento de cada una de las fases para poderlas comercializar o disponerlas sin alterar el equilibrio del medio ambiente.

**3.2 FACILIDADES DE SUPERFICIE:** Las Facilidades de Superficie Petroleras son estaciones del tipo midstream que cuentan con el equipamiento necesario para deshidratar el crudo proveniente de pozos productores, disponer el agua que esta asociada al petróleo extraído y aprovechar el gas asociado; además almacena y transporta el crudo. Existen dos tipos de facilidades de superficie, los tipo “offshore” que son plataformas ubicadas mar adentro recibiendo producción desde arenas que están ubicadas en capas por debajo del mar y los tipo “onshore” que son todas las plataformas ubicadas en el continente. A la entrada de las facilidades se cuenta con un arreglo de tubería llamado múltiple o “manifold”, que recibe la producción de pozos y los direcciona a los Separadores Trifásicos, llamados así porque separan gas, agua libre y emulsión crudo-agua; conocido también como Free Water Knock Out (FWKO), por separar el agua libre.

#### 3.3 CONCEPTOS A CONSIDERAR EN LA SEPARACION GAS/LIQUIDO.

**3.3.1 Presión de llegada del caudal al separador:** Es igual a la presión del yacimiento menos la sumatoria de todas las caídas de presión que experimenta el sistema hasta el separador :

$$P_{LL} = (P^*) - [\Delta P_{arena} + \Delta P_{skin} + \Delta P_{cañoneo} + \Delta P_{FMV} + \Delta P_{VS} + \Delta P_{ch} + \Delta P_{LF}]$$



**3.3.2 Presión inicial de separación:** Es igual a la presión de llegada al separador menos una caída de presión en el separador, mediante la cual se efectúa la separación gas/liquido en su primera etapa.

$$P_{i \text{ sep}} = P_{LL} - \Delta P_{\text{sep}}$$

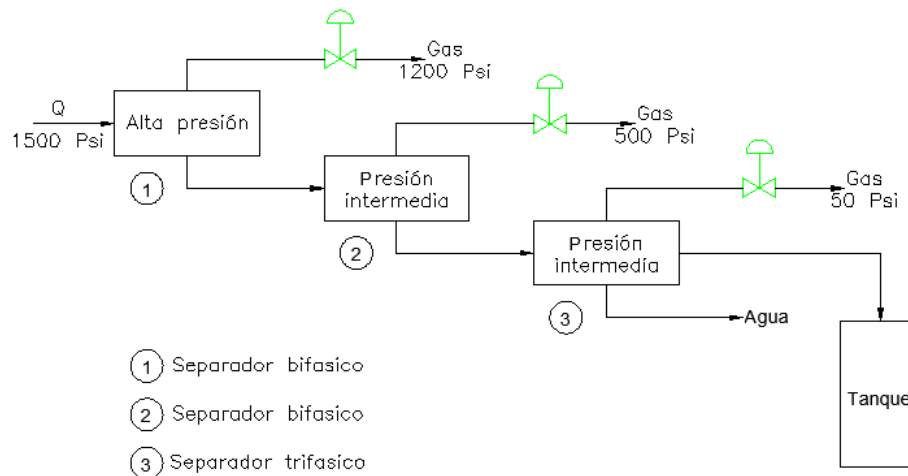
$$P_{i \text{ sep}} = (P^*) - [\Delta P_{\text{arena}} + \Delta P_{\text{skin}} + \Delta P_{\text{cañoneo}} + \Delta P_{\text{FMV}} + \Delta P_{\text{VS}} + \Delta P_{\text{ch}} + \Delta P_{\text{LF}} + \Delta P_{\text{sep}}]$$

Donde:

- ✓  $P_{i \text{ sep}}$  = Presión inicial de separación, (psi).      $P^*$  = Presión del yacimiento, (psi).
- ✓  $\Delta P_{\text{arena}}$  = Caída de presión a través de la arena productora, (psi).
- ✓  $\Delta P_{\text{skin}}$  = Caída de presión por daño en la formación, (psi).
- ✓  $\Delta P_{\text{FMV}}$  = Caída de presión al fluir por la tubería de producción en flujo, (psi).
- ✓  $\Delta P_{\text{VS}}$  = Caída de presión en la válvula de subsuelo, (psi).
- ✓  $\Delta P_{\text{ch}}$  = Caída de presión en el choque de cabeza de pozo, (psi).
- ✓  $\Delta P_{\text{LF}}$  = Caída de presión en la línea de flujo, (psi).
- ✓  $\Delta P_{\text{sep}}$  = Caída de presión en el separador, (psi).

### 3.4 ETAPAS DE SEPARACION GAS/LIQUIDO

**Figura 1. ETAPAS DE SEPARACION**



Debido a la composición del fluido producido se puede determinar que a mayor número de etapas de separación, mayor será la cantidad de componentes livianos que permanecen en la fase líquida.

Entre mayor de etapas asociadas al proceso, se obtiene menor incremento de producción en cada etapa adicional.

**3.4.1 Presión de operación en el separador:** El separador se deberá operar a la mínima presión posible que puede variar entre 25 – 50 – 100 psi, dependiendo de las condiciones del yacimiento como de la operación del sistema.

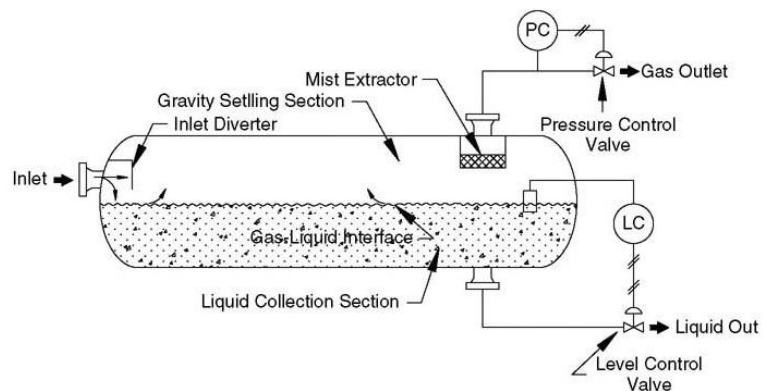
### 3.5 TIPOS DE SEPARADORES

#### 3.5.1 POR SU OPERACIÓN:

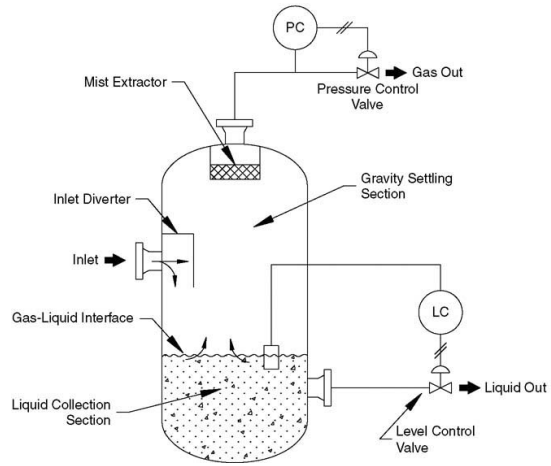
- Bifásicos.
- Trifásicos.

#### 3.5.2 POR SU CONFIGURACION:

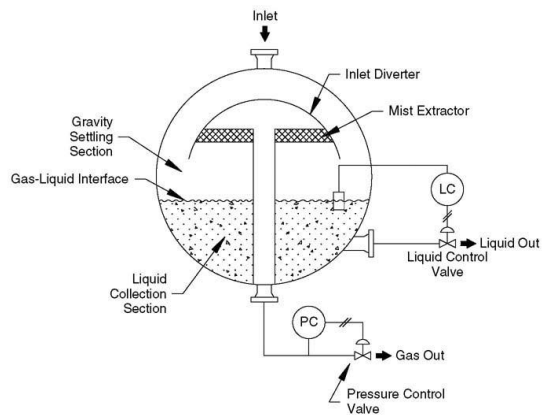
**Figura 2. Separador Horizontal**



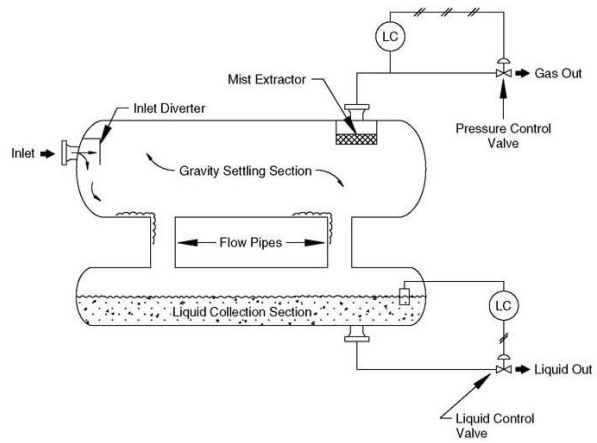
**Figura 3. Separador Vertical**



**Figura 4. Separador Esférico**



**Figura 5. Separador Doble Barril**



## Figura 6. Separador de Filtro

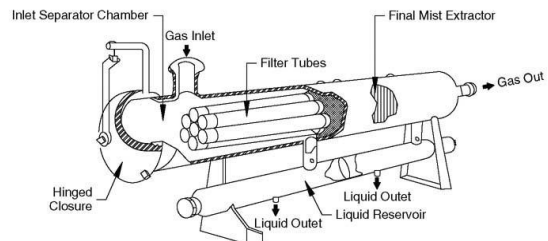
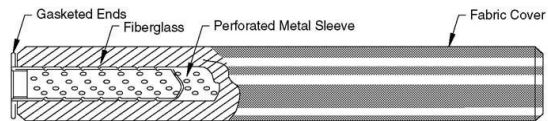
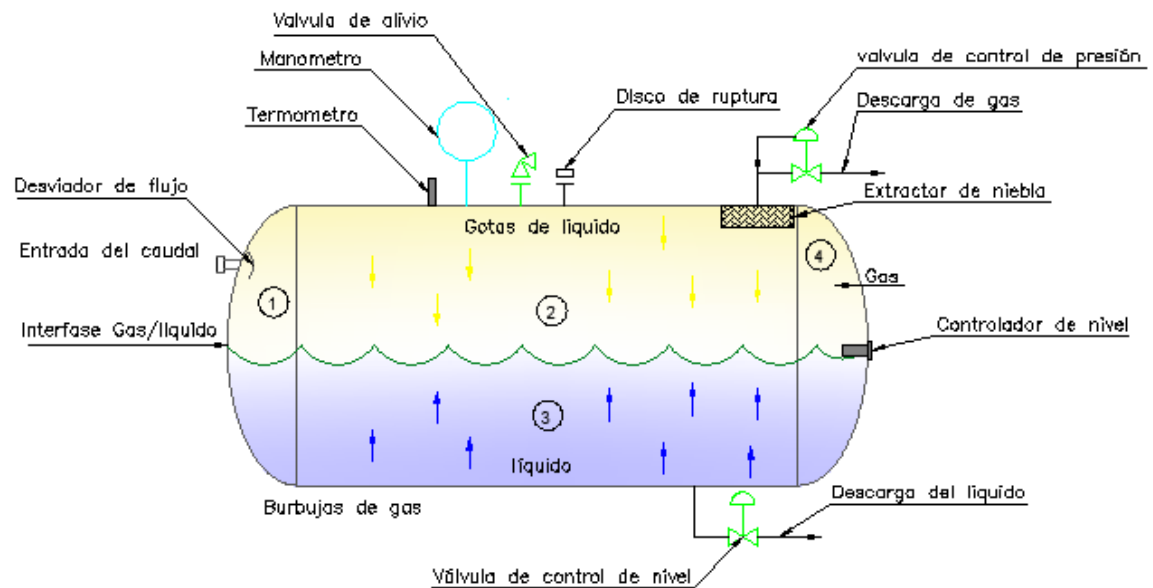


Figure 4-11. Typical horizontal two-barrel filter separator.



## Figura 7. Secciones del Separador Horizontal



- (1) Sección de separación primaria.
- (2) Sección de separación por asentamiento gravitacional.
- (3) Sección de acumulación de líquido.
- (4) Sección de coalescencia.

### **3.6 DESCRIPCION DEL PROCESO EN EL SEPARADOR**

El caudal proveniente del pozo ingresa al separador y choca contra el desviador de flujo cambiando así la velocidad y la dirección del flujo, efectuándose así la separación primaria y casi total de las dos fases gas/líquido. Las gotas pequeñas de líquido son arrastradas por el flujo horizontal del gas que llega al extractor de niebla.

El líquido separado se almacena en la sección de acumulación de líquido. En esta sección se debe tener una buena capacidad para que exista un tiempo de residencia suficiente para que las burbujas de gas puedan liberarse del líquido y formar parte de la fase gaseosa. El líquido es descargado a través de la válvula de nivel, la cual es regulada mediante el control de nivel. Dicho nivel opera normalmente al 50% de la capacidad del separador. Las gotas pequeñas de líquido que no alcanzan a separarse por gravedad, entran al extractor de niebla o sección de coalescencia, donde se juntan para formar gotas más grandes y así proceder a precipitarse y realizar la etapa final de separación.

### **3.7 SELECCIÓN SEPARADOR HORIZONTAL vs VERTICAL**

#### **3.7.1 SEPARADORES VERTICALES:**

##### **3.7.1.1 Ventajas:**

- Eficientes para el manejo de sólidos.
- Eficientes para absorber turbulencia.
- Menor tendencia a la reincorporación de líquido al caudal de gas.
- Más efectivo en el manejo de caudales de producción con bajas relaciones gas/aceite.
- Ocupa un menor espacio en la facilidad.

##### **3.7.1.2 Limitaciones:**

- Eficiente en el manejo y procesamiento de altos volúmenes de gas y de líquido.
- Más eficiente en el manejo de crudos espumosos.
- Más eficiente en el manejo de emulsiones.
- Mas eficientes en el manejo de producciones con altas relaciones gas/aceite.
- Mayor facilidad en el manejo y mantenimiento de instrumentos de control.

- Son de fácil transporte.

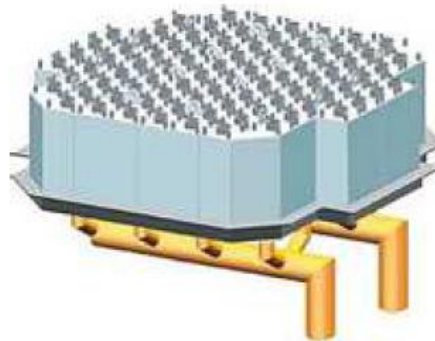
En general, el separador horizontal es más eficiente que el vertical.

### **3.8 PARTES INTERNAS DE UN SEPARADOR**

3.8.1 Desviador de flujo: Consiste de un dispositivo que se instala a la entrada del separador.

3.8.1.1 Schoepentoeter : Elemento difusor que elimina espuma y tiene un 90% de eficiencia.

**Figura 8. Schoepentoeter**



3.8.1.2 Cyclonico: Elemento que aprovecha la fuerza centrífuga del vórtice para separar sólidos, gas y líquido, tiene un 90% de eficiencia.

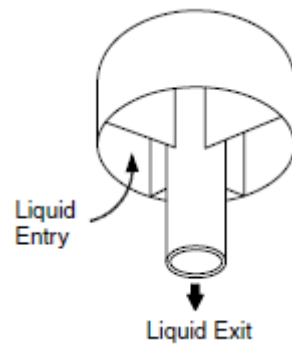
**Figura 10. Cyclonico**



3.8.1.3 Porta-TestR: Elemento difusor también conocido como desviador centrifugo, dispositivo volumétrico que tiene un 95% de eficiencia.

**Figura 11. Porta-TestR**

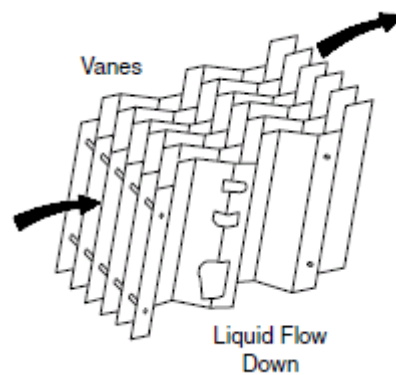
**Figura 12. Platina desviadora**



3.8.1.5 Platinas antiespumantes: Generalmente la espuma presente en un caudal de producción de crudo es tratada mediante la adición de un producto químico. Una solución efectiva se logra mediante la instalación de una serie de platinas paralelas inclinadas, con las cuales se ayuda al rompimiento de las burbujas de espuma.

3.8.1.6 Extractor de niebla: se instalan en la descarga de gas del correspondiente separador y se constituyen en el elemento principal de la sección de coalescencia.

**Figura 13. Extractor de niebla**



Extractor de niebla tipo platina.



3.8.1.7 Eliminador de lodos: Tomas laterales para separadores que trabajen con crudo pesado o con pozos que no tengan arenas consolidadas y tengan la tendencia de acumular solidos en la interface.

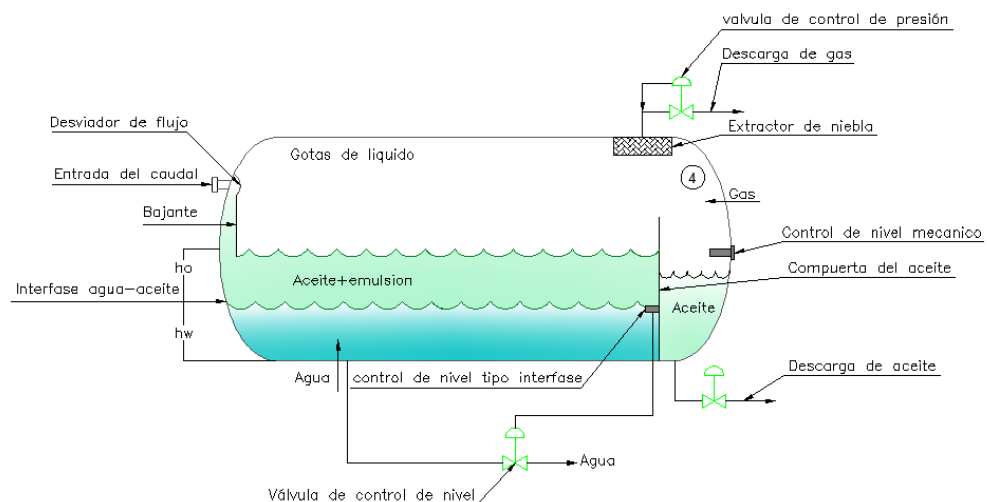
3.8.1.8 Toma muestras: Tomas ubicadas estratégicamente a diferentes alturas para facilitar la toma de muestras de los líquidos y poder evaluar el desempeño del separador.

3.8.1.9 Tomas para instrumentos: El equipo debe contar con tres instrumentos básicos, transmisor de presión, transmisor de nivel de crudo y transmisor de nivel de interface. La medición de interface no es sencilla y por lo general se opta por tener dos tecnologías disponibles, una de ellas es el instrumento capacitivo; para la especificación de un instrumento capacitivo, es necesario conocer la constante dieléctrica de los fluidos, para el caso del FWKO, los fluidos son el agua que tiene una constante dieléctrica en el orden de 80 y el crudo de 2.

3.8.1.10 Instrumentos de seguridad: Adicional a la instrumentación asociada a los lazos de control, se tiene instrumentación de presión y de nivel de seguridad.

### 3.9 SEPARADOR TRIFASICO CONVENCIONAL HORIZONTAL

**Figura 14. Separador Trifásico Convencional Horizontal**



### **3.9.1 DESCRIPCION DEL PROCESO EN EL SEPARADOR TRIFASICO HORIZONTAL**

3.9.1.1 El caudal de fluido entra al recipiente y choca con el desviador de flujo, donde se produce la separación primaria. El desviador de flujo tiene un diseño especial que permite redirigir el líquido separado hasta un poco por debajo de la interface gas/aceite.

3.9.1.2 La sección de acumulación de líquido del recipiente debe tener suficiente tiempo de residencia para que el aceite y la emulsión formen una capa o colchón de aceite (ho). El aceite limpio se localiza en la parte superior, mientras que el agua libre se precipita al fondo del recipiente.

3.9.1.3 El aceite limpio se recolecta en la cámara de aceite, donde su nivel se controla mediante un control de nivel mecánico convencional y la válvula de descarga de aceite.

3.9.1.4 La válvula de descarga de agua actúa de acuerdo con la señal del control de nivel tipo interface, permitiendo la salida adecuada de agua, de tal forma que la interface agua/aceite o colchón de aceite (ho), se mantenga a la altura de diseño.

3.9.1.5 El gas fluye horizontalmente hasta el extractor de niebla y la válvula de control de presión mantiene constante la presión del separador. Las gotas de líquido que han sido arrastradas por el gas se precipitan en forma perpendicular a la dirección del caudal del gas.

3.9.1.6 El nivel de la interface gas/aceite puede variar desde la mitad del diámetro (50%) hasta el 75% del diámetro del recipiente. La configuración más usada es del 50%.

## **4. METODOLOGÍA**

**4.1 FASE DE DOCUMENTACION:** Consiste en recolectar información acerca de la teoría de los SEPARADORES TRIFASICOS HORIZONTALES, y los elementos necesarios para el diseño de este, cálculos y materiales, para ello se consultará en las principales bibliotecas de la ciudad, revistas técnicas e Internet.

### **4.2 FASE DE DISEÑO**

4.2.1 CÁLCULOS: Después de la consulta, se aclarara cuales son las principales necesidades, partes y dimensiones de la caldera por lo cual se desarrollaran los cálculos necesarios para elaborar el diseño que nos proporcionara una caldera funcional y segura de acuerdo a lo previsto.

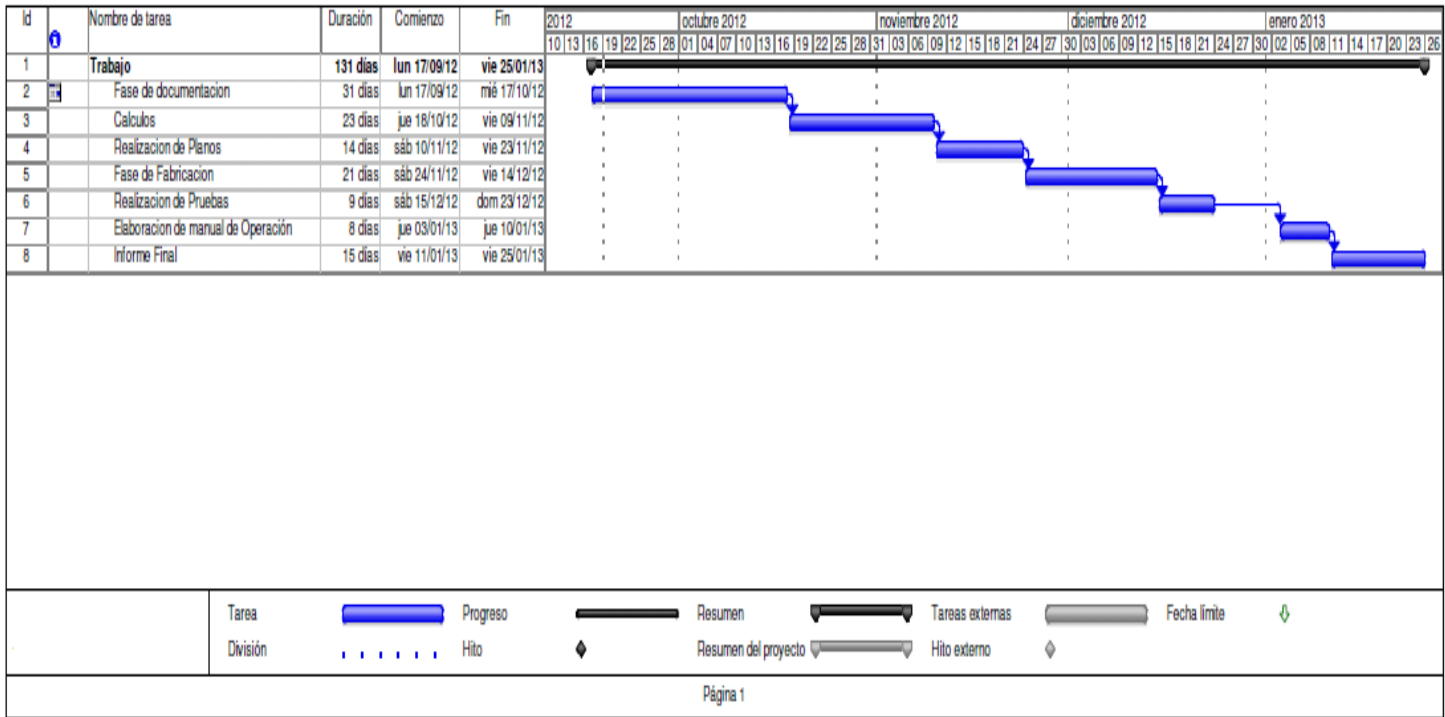
4.2.2 REALIZACIÓN DE PLANOS: En esta parte se realizaran los planos pertinentes teniendo en cuenta lo consultado y los cálculos realizados, con su respectivo despiece y en donde se detallaran cada una de las características más importantes para un diseño apropiado.

**4.3 FASE DE FABRICACIÓN:** Elaboración de piezas de acuerdo a los planos elaborados.

**4.4 REALIZACIÓN DE PRUEBAS Y ELABORACIÓN DEL MANUAL DE OPERACIÓN:** En este manual se enunciaran cada uno de los pasos a seguir para el uso del separador.

**4.5 INFORME FINAL:** En esta última etapa se recopilaran los procesos de diseño, cálculos, planos y manual del usuario elaborados a lo largo del proyecto y se realiza el documento final.

## 5. CRONOGRAMA



## 6. PRESUPUESTO

- Fabricación prototipo en acrilico.....	\$ 500.000
- Bomba de ½ hp (o según calculo).....	\$ 500.000
- Tubería pvc .....	\$ 50.000
- Acoples .....	\$ 100.000
- Soporte de prototipo .....	\$ 150.000
- Tanque de almacenamiento .....	\$ 200.000
- Fluidos para ensayos .....	\$ 50.000
- Consumibles .....	\$ 80.000
- Válvulas tipo bola .....	\$ 80.000

**TOTAL ..... \$ 1'710.000**

## 7. BIBLIOGRAFIA

R.PENNEY, Couper, Chemical process equipment selection and design.  
2ed. 2010.

SPEIGHT, James, Handbook of industrial hydrocarbon processes.  
Gulf Professional Publishing, 2011.

VELANDIA GALEANO, Daniel, Facilidades en campos de producción en campos petroleros.