

2ej. 22



**Universidad Nacional Autónoma de México**

Facultad de Ingeniería

**“APLICACIONES PRACTICAS DE  
MANEJO DE LA PRODUCCION  
DE HIDROCARBUROS”**

**T E S I S**

Que para obtener el título de:

INGENIERO PETROLERO

P r e s e n t a n :

**Arnulfo Domingo Ortega Romero**

**Juan Carlos Sosa Sánchez**



México, D. F.

1988



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

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

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

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

# I N D I C E

PAGINA

## CAPITULO I

INTRODUCCION ... 1

---

## CAPITULO II

RECOLECCION DE LA PRODUCCION ... 3

---

## CAPITULO III

SEPARACION DE LOS FLUIDOS PRODUCIDOS ... 19

---

## CAPITULO IV

ALMACENAMIENTO DE LOS HIDROCARBUROS PRODUCIDOS ... 42

---

## CAPITULO V

MEDICION DE LOS FLUIDOS PRODUCIDOS ... 68

---

## CAPITULO VI

MUESTREO Y ANALISIS DE LOS FLUIDOS MANEJADOS ... 89

---

## CAPITULO VII

TRATAMIENTO DE CAMPO DE CRUDO Y GAS ... 108

---

## CAPITULO VIII

PROBLEMAS PRACTICOS ... 127

---

## CAPITULO I

### I N T R O D U C C I O N

Se han desarrollado y mejorado métodos y equipos en la industria del petróleo; las operaciones del campo petrolero se han colocado en un plano más técnico. La literatura referente a la tecnología de la producción de petróleo se ha ampliado mucho. Un libro publicado años atrás no puede reflejar ya adecuadamente el presente estado de desarrollo en este campo.

La nueva tendencia en la Ingeniería Petrolera, es en el sentido de colocar una actividad profesional sobre una base más precisa. La investigación proporciona un medio para formular y entender muchos de los factores que intervienen en los problemas de la tecnología del petróleo.

Por lo que se plantea que el presente trabajo sirva como fondo descriptivo para dar la información que el estudiante de Ingeniería Petrolera requiere para tener una perspectiva adecuada de la industria productora del petróleo y un conocimiento de su terminología, equipo y métodos, enfocándose principalmente a la materia de Manejo de la Producción en la Superficie.

Los capítulos, excepto el capítulo VIII, contemplan un glosario que apoyará e introducirá al alumno en un lenguaje técnico-

co, el cual le dará mayor comprensión y entendimiento; una sección teórico-aplicativa la cual consta de cinco series, dentro de las cuales, se elaboran preguntas y problemas a resolver, acompañados de una bibliografía la cual es sugerida para que el alumno, pueda resolver con mayor facilidad los problemas planteados.

## CAPITULO II

### RECOLECCION DE LA PRODUCCION

Es necesario conocer las funciones, operación y mantenimiento de las instalaciones de recolección de la producción así como los problemas que ocasiona la presencia de materiales extraños tales como arena, parafina, asfaltenos, etc., para que el Ingeniero de Producción pueda realizar de una manera óptima el diseño de las instalaciones de recolección de la producción. Este sistema debe diseñarse para adaptarse a las condiciones que se presentarán en cada caso por separado.

Para tener un sistema de recolección más eficiente, se debe tomar en cuenta, al inicio del proyecto, los probables requerimientos que a futuro se tengan, a los cuales se tendrá que ajustar el sistema, debido a que este crece al ampliarse las operaciones de perforación. Evitando así costosos reacondicionamientos o duplicación de líneas.

Las líneas colectoras deberán protegerse contra la corrosión aplicándoles una gruesa capa de pintura asfáltica o envolviéndolas con tela impregnada de asfalto. Esto es especialmente importante en terrenos pantanosos.

La posibilidad de acumulación de parafina o sedimentos en las paredes interiores de la tubería es imposible de evitarse ya

que estos son factores propios de los fluidos producidos por lo tanto se deben tomar en cuenta las medidas preventivas para cada caso.

#### RESTRICCIÓN DE FLUJO

Las válvulas deben colocarse para permitir el seccionamiento rápido de cualquier porción del sistema, cuando lo requieran las circunstancias y debe haber una válvula en cada ramal. Con frecuencia se usan válvulas macho para este objeto. Se deben instalar válvulas maestras del tipo compuerta en las líneas principales para permitir el control del flujo en los puntos convenientes. Se insertan en las líneas válvulas de retención siempre que sea necesario para evitar flujo en sentido inverso.

#### MOVIMIENTO DE FLUIDO

En circunstancias en las que no se puede emplear la gravedad para mover el aceite a través del sistema de recolección, se deben proporcionar bombas. Existen bombas del tipo recíprocantes, rotatorias y centrífugas.

Bomba recíprocante: Está formada esencialmente por un émbolo que se desplaza en el interior de un cilindro aspirando el líquido y luego lo expulsa en su carrera contraria, durante este ciclo el líquido permanece encerrado dentro del cilindro.

Bomba rotatoria: Son de émbolo de doble efecto, en la primera carrera se aspira el líquido y luego lo expulsa en su carrera contraria, durante este ciclo el líquido permanece encerrado dentro del cilindro.

Bomba centrífuga: Son llamadas así, debido a que en su operación utilizan una fuerza centrífuga o variación de presión debido a la rotación de un impulsor o rodete dentro de una cámara de presión o carcasa. Consiste de un impulsor que gira dentro de la cámara de presión.

#### CENTRAL DE RECOLECCION.

Es una instalación donde se recibe, separa, almacena y bombea la producción de los pozos, además se realizan mediciones y muestreos tanto de gas como de aceite. Normalmente es denominada batería.

#### PROBLEMAS RESUELTOS

1. Se desea desplazar un dispositivo de limpieza (diablo) en un gasoducto de 12 pg de diámetro interior y 2 km de longitud. Si el gasto de gas enviado es de  $30 \times 10^6$  pie<sup>3</sup>/día a condiciones estándar, con una presión en la trampa de diablos de 30 kg/cm<sup>2</sup>, ¿Qué tiempo aproximado tarda el diablo en llegar al otro extremo?.

Solución:

Se considera que las caídas de presión por fricción son nulas y que el movimiento es uniforme.

$$\text{Se sabe que } v = \frac{d}{t} \quad \dots (1)$$

y

$$q = v \times A \quad \dots (2)$$

Substituyendo la ec. 1 en 2 y despejando el tiempo se tiene que:

$$t = \frac{d \cdot x \cdot A}{q} \quad \dots (3)$$

Substituyendo los datos en la ec. 3 y haciendo las conversiones correspondientes se tiene que:

$$t = 14.84 \pm 15 \text{ seg.}$$

2. Considérese, que se transporta gas con una presión de operación de 600 lb/pg<sup>2</sup> abs. a una temperatura de flujo de 60°F. El gas a transportar está 100% saturado de vapor de agua. Determinar si dadas las condiciones de operación existe posibilidad de formación de hidratos.

La composición del gas es la siguiente:

(1) Componente	(2) Fracción mol	(3) K (Ref. 7)
C <sub>1</sub>	0.17251	1.60
C <sub>2</sub>	0.25062	0.90
C <sub>3</sub>	0.27228	0.17
iC <sub>4</sub>	<u>0.30459</u> 1.00000	0.11

Solución:

$$x = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{K_i}$$

(1) Componente	Columnas (2)/(3)
C <sub>1</sub>	0.10782
C <sub>2</sub>	0.27850
C <sub>3</sub>	1.60165
iC <sub>4</sub>	2.76900
	<u>4.75693</u>

Como  $X > 1$  existe formación de hidratos

3.- Se tiene la siguiente información:

Pozo	J.V.		J.V.				Sep.		Tanque	
	Secc.	Vfa	Loc.	Secc.	Vfa		Gpo.	Pba.	Alm.	Pba.
					Gpo.	Pba.				
10	1	2	10	2	5	4	2	3	2	1

Donde: J.V. = Juego de válvulas

Sep. = Separador

Gpo. = Grupo

Alm. = Almacenamiento

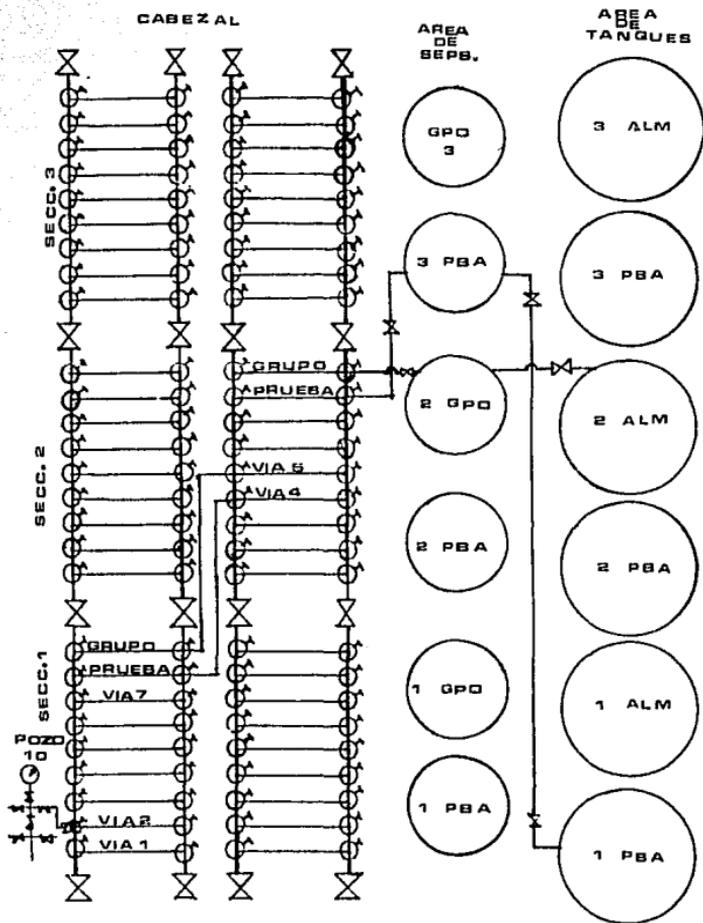
Pba. = Prueba

Secc. = Sección

Representar la trayectoria de flujo del pozo a la batería en un dibujo en planta.

Solución:

BATERIA



4. De un gasoducto se obtuvo la siguiente información:

$$\begin{aligned}
 E &= 0.75 \\
 d_i &= 2 \text{ pie} \\
 T_o &= 18^\circ\text{C} \\
 P_o &= 14.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.} \\
 T &= 80^\circ\text{F} \\
 P_1 &= 50 \text{ kg/cm}^2 \text{ man.} \\
 P_2 &= 45 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.} \\
 L &= 30.0 \text{ km} \\
 \gamma_g &= 0.65 \text{ (aire} = 1)
 \end{aligned}$$

Calcular el gasto ( $\text{pie}^3/\text{día}$ ) a condiciones estándar. Utilizando la fórmula de Panhandle (considera que no hay elevación en el terreno y el flujo es horizontal).

$$q_g = 737 \left[ \frac{T_o}{P_o} \right]^{1.02} E \left[ \frac{P_1^2 - P_2^2}{TL \gamma_g^{0.961}} \right]^{0.510} d_i^{2.53} \text{ (referencia 8)}$$

donde:

$$\begin{aligned}
 T_o &= \text{Temperatura base del lugar en } ^\circ\text{R} \\
 P_o &= \text{Presión base del lugar en lb/pg}^2 \text{ abs.} \\
 E &= \text{Factor de eficiencia} \\
 P_1 &= \text{Presión inicial en lb/pg}^2 \text{ abs.} \\
 P_2 &= \text{Presión final en lb/pg}^2 \text{ abs.} \\
 T &= \text{Temperatura de flujo en } ^\circ\text{R} \\
 L &= \text{Longitud de la línea en millas} \\
 \gamma_g &= \text{Densidad del gas (aire} = 1.0) \\
 d_i &= \text{Diámetro interior de la línea en pg.}
 \end{aligned}$$

Solución:

$$\begin{aligned}
 E &= 0.75 & T &= 540^\circ\text{R} \\
 d_i &= 24 \text{ pg} & P_1 &= 724.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.} \\
 T_o &= 524.4^\circ\text{R} & P_2 &= 639 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.} \\
 P_o &= 14.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.} & L &= 18.642 \text{ millas} \\
 \gamma_g &= 0.65 \text{ (aire} = 1.0)
 \end{aligned}$$

Substituyendo los datos correspondientes en la ecuación de Panhandle se obtiene que:

$$q_g = 282.8 \times 10^6 \text{ pie}^3/\text{día a c.s.}$$

5. Cálculo del diámetro en pg de un gasoducto que cuenta con la siguiente información:

$$q_g = 50 \times 10^6 \text{ pie}^3/\text{día a condiciones estándar.}$$

$$E = 0.65$$

$$P_1 = 41.0 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$$

$$P_2 = 40.0 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$$

$$L = 27.0 \text{ kg}$$

$$T_o = 20^\circ\text{C}$$

$$P_o = 1.033 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$$

$$\gamma_g = 0.70 \text{ (aire} = 1.0)$$

$$T = 90^\circ\text{F}$$

Solución:

Utilizando la ecuación de Panhandle y despejando el diámetro se tiene:

$$d_i = \sqrt[2.53]{\frac{q_g}{737 \left[ \frac{T_o}{P_o} \right]^{1.02} E \left[ \frac{P_1^2 - P_2^2}{T L \gamma_g} \right]^{0.510}}}$$

Substituyendo la información correspondiente en la ecuación anterior se obtiene:

$$d_i = 18.89 \text{ pg}$$

Se seleccionará entonces una tubería de 20 pg de diámetro inferior.

PROBLEMAS PROPUESTOS

SERIE 1.11

- 1.1.- ¿Qué es un medio árbol de válvulas?
- 1.2.- ¿A qué se le llama sistema de recolección de la producción?
- 1.3.- ¿Qué equipo se instala en la plataforma de un pozo productor de aceite?
- 1.4.- ¿Cuándo no se debe usar el juego de válvulas (araña) entre los pozos y la batería?
- 1.5.- ¿Qué problemas ocasiona la depositación de hidratos?
- 1.6.- ¿Cuáles son los materiales más usuales para cuerpos y bonetes, en la fabricación de las válvulas?
- 1.7.- Se tiene un gas con una presión de operación de 800 lb/pg<sup>2</sup> abs, una temperatura de 50°F y la siguiente composición:

Componente	Fracción mol (y)
C <sub>1</sub>	0.8029
C <sub>2</sub>	0.0721
C <sub>3</sub>	0.0712
iC <sub>4</sub>	0.0435
nC <sub>4</sub>	0.0085
CO <sub>2</sub>	$\frac{0.0018}{1.0000}$

Se sabe que la humedad relativa (H.R.) es de 0.99.

Determinar si existe o no formación de hidratos.

Sol. H.R. < 0.76117 Existe formación de hidratos

(ver referencia 7)

SERIE 2.II

- 2.1.- ¿Qué solventes son efectivos para la remoción de asfaltos?
- 2.2.- ¿Cuándo es recomendable usar los rectificadores de gas?
- 2.3.- ¿Cuáles son las funciones de los estranguladores usados en los pozos fluyentes?
- 2.4.- ¿Qué se entiende por amarre de los pozos?
- 2.5.- ¿Qué parámetros se toman en cuenta en el diseño de una batería?
- 2.6.- ¿Qué factores intervienen en la selección de las válvulas utilizadas en el manejo de la producción?
- 2.7.- Se tiene la siguiente información:

(Pozo de Bombeo Mecánico)

J.V. (araña)	J.V.		Sep	Tanque
Vfa	Sección	Vfa	Pba	Aforo
2	2	3	2	1

Representar la trayectoria de flujo del pozo a la batería, en un dibujo en planta.

SERIE 3.II

- 3.1.- ¿Cuándo se dice que la batería está descontrolada y que medidas se toman para su control?
- 3.2.- ¿De qué partes consta la válvula tipo tapón?
- 3.3.- ¿Cuál es la causa más frecuente de fugas en los colectores?
- 3.4.- ¿Qué le sucede a una emisión agua-aceite en presencia de material asfáltico?
- 3.5.- ¿Qué puede producir las irregularidades de la topografía del terreno en las líneas colectoras?
- 3.6.- ¿Qué consideraciones se deben tomar en cuenta en la se-

lección de las válvulas utilizadas en el manejo de la producción?

- 3.7.- Se tiene una batería que maneja 40000 bl/día a condiciones estándar con una relación gas líquido de  $232 \text{ m}^3/\text{m}^3_0$ . Determinar el diámetro interior del gasoducto, con ayuda de la fórmula de Panhandle. Dada la siguiente información:

$$E = 0.70$$

$$T_o = 68 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$P_1 = 60 \text{ kg/cm}^2 \text{ man.}$$

$$P_o = 14.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$P_2 = 50 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$$

$$T = 80 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$L = 45 \text{ km}$$

$$\text{Masa molecular del gas (Mg)} = 18.97 \frac{\text{lb}}{\text{mole} - \text{lb}}$$

$$\text{Sol. } d_i = 11.8 \text{ pg.}$$

#### SERIE 4.II

- 4.1.- ¿Cuáles son las características y propiedades de los flujos?
- 4.2.- ¿Cómo se detecta el arenamiento y cuáles son los métodos más comunes para su control?
- 4.3.- ¿Qué se entiende por separador ciclónico?
- 4.4.- ¿Cuáles son los factores responsables de la precipitación de los asfaltenos?
- 4.5.- ¿De qué factores depende el vapor de agua presente en el gas?
- 4.6.- ¿Qué factores se deben tomar en cuenta, para seleccionar un método de control, ante un problema de depositación parafínica?
- 4.7.- ¿Calcular el gasto ( $\text{pie}^3/\text{día}$ ) que maneja el gasoducto, si se tiene la siguiente información: (Usar ec. Panhandle)

Espesor de pared = 5.08 cm.  
 Diámetro exterior = 2.0 pie.  
 Velocidad de flujo = 30 pie/seg.  
 Tiempo de recorrido = 1 hr.  
 Factor de eficiencia = 0.8  
 Presión inicial = 30 kg/cm<sup>2</sup> abs.  
 Presión final = 25 kg/cm<sup>2</sup> abs.  
 Presión base = 1.033 kg/cm<sup>2</sup> abs.  
 Temperatura base = 62 °F  
 Temperatura de flujo = 83 °F  
 Composición del gas:

Componentes	Fracción mol.
Metano	0.36518
Etano	0.23388
Propano	0.19930
Butano Normal	<u>0.20164</u>
	1.00000

Sol.  $q_g = 93.53 \times 10^6$  pie<sup>3</sup>/dfa a c.s.

#### SERIE 5.II

- 5.1.- ¿Dónde es recomendable instalar medidores de orificio?
- 5.2.- ¿Cuáles son las formas más comunes de estimar la corrosión?
- 5.3.- ¿Cuáles son las principales causas del parafinamiento?
- 5.4.- Determinar qué factores influyen para la formación de hidratos.
- 5.5.- ¿Qué factores provocan la depositación de las sales carbonatadas?
- 5.6.- ¿Qué métodos son preferibles de usar para el control del parafinamiento, explicar por qué?
- 5.7.- Considérese un gasoducto a una presión de 900 lb/pg<sup>2</sup> y una temperatura de 65°F. El gas manejado esta 100% satu-

rado de agua, y su composición es la siguiente:

Componente	Fracción mol (Y)
C <sub>1</sub>	0.8860
C <sub>2</sub>	0.0600
C <sub>3</sub>	0.0200
iC <sub>4</sub>	0.0130
nC <sub>4</sub>	0.0090
iC <sub>5</sub>	0.0070
nC <sub>5</sub>	<u>0.0050</u>
	1.0000

Determinese la máxima presión a la que se puede manejar el gas, sin formación de hidratos, por medio de la temperatura y densidad relativa de gas.

Sol.  $P = 1083.54 \text{ lb/pg}^2$  (ver referencia 7).

## G L O S A R I O

- Cabezal de recibo:** Recibe la producción de todos los pozos de un campo. Tiene cuatro colectores, Alta, Baja, Intermedia y Medición, además está formado por secciones y normalmente cada sección consta de siete vías.
- Juego de válvulas:** (Araña o Multiport), sirve para recolectar la producción de un número determinado de pozos que tienen las mismas características, propiedades, presiones y gastos.
- Rectificadores:** Tienen como objeto separar pequeñas cantidades de líquido que se encuentra in situ en la corriente de gas. Maneja altos volúmenes de gas y poco volumen de aceite.
- Motor de combustión interna:** Térmico, en el que la transformación de energía calorífica del combustible en energía de presión, tiene lugar en el interior del propio motor. Se divide en motor diesel y motor de explosión de cabeza caliente.

**Motor eléctrico:**

Dispositivo que transforma la energía eléctrica en trabajo interno mecánico. Se funda en las leyes de electromagnetismo relativas a las interacciones mutuas entre los campos eléctricos y magnéticos. Según el tipo de corriente que los alimenta, pueden ser de corriente continua o alterna.

**Manómetro:**

Es un instrumento que se coloca ya sea en la cabeza del pozo, en líneas de descarga o en los separadores, destinados a medir la presión de los fluidos.

## REFERENCIAS

- 1) De la Garza Carrasco Nahum: "Apuntes de Físicoquímica y Termodinámica": Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F.
- 2) Gómez Cabrera José A.: "Apuntes de Manejo de la Producción en la Superficie": Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F., 1986.
- 3) Gómez Cabrera José A.: "Apuntes de la Clase de Manejo de la Producción": Facultad de Ingeniería, UNAM.
- 4) Lester Charles Uren: "Ingeniería de la Producción del Petróleo": Editorial CECSA; México, D.F.
- 5) Sánchez Silva César: "Tuberías, Válvulas y Accesorios en Sistemas de Transporte de Hidrocarburos": Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM: México, D.F. 1983.
- 6) Iturbe Mata José G.: "Naturaleza y Tratamiento de Depósitos Parafínicos en la Industria Petrolera": Tesis Profesional; Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F., 1985.
- 7) I.M.P.: "Proyecto 3370, Utilización del gas Húmedo para el B.N. en la Zona Sur"; Depto. de Producción, Junio de 1973.

- 8) Gutiérrez Sánchez Alejandro y Gutierrez Sánchez Clemente:  
"Diseño de instalaciones Superficiales de producción", Fa-  
cultad de Ingeniería, UNAM. Tesis Profesional. México, D.F.  
1987.

## CAPITULO III

### SEPARACION DE LOS FLUIDOS PRODUCIDOS

#### NATURALEZA DE LOS FLUIDOS

El aceite y el gas se encuentran naturalmente como una mezcla compleja de hidrocarburos en su composición química y a una elevada presión y temperatura en el yacimiento. Al producir y obtener los hidrocarburos en la superficie, la temperatura y la presión de la mezcla se reducen. De acuerdo con el tipo de yacimiento es la configuración y las condiciones de operación del sistema, haciendo necesario el uso de equipos de separación.

#### EQUIPOS DE SEPARACION

Se utilizan en la industria petrolera para separar mezclas de líquido y gas y entre los aplicados con mayor frecuencia se encuentran los eliminadores, separadores a baja temperatura, depuradores y separadores. Estos últimos por su geometría se clasifican en horizontales, verticales y esféricos los cuales pueden ser bifásicos o trifásicos.

Para determinar la capacidad de los separadores se usan dos métodos el gráfico y el analítico.

## SEPARACION POR ETAPAS

La separación es un proceso en el cual la fase gaseosa es removida del líquido por dos o más etapas de separación, llevadas a cabo a una presión menor que la anterior.

El sistema de separación formado por varias etapas, es simulado realizando cálculos de balance de materia con el cual podemos calcular sus propiedades. Estas propiedades son una representación del funcionamiento de un sistema de separación. Es de gran importancia llevar a cabo la optimización de la presión de operación en un sistema de separación en etapas. Existe para ello los siguientes métodos.

Frick: Método empírico, que es usado si se tiene poca información disponible.

Campbell: Método de análisis composicional de la mezcla, para determinar la presión de separación únicamente en la segunda etapa en un sistema de tres etapas.

Mínimos requerimientos por compresión: Método iterativo en el cual se asignan valores de presión a cada una de las etapas, usado cuando se tiene suficiente información disponible.

Máxima recuperación de hidrocarburos líquidos: Consiste en que, conociendo la composición del fluido que se alimenta al sistema de separación y las presiones de operación en la primera y

la última etapa, se asignan presiones a las etapas intermedias con el fin de realizar un Balance de Materia Vapor-Líquido.

#### PRESION DE VAPOR

Se ha observado que un líquido colocado en un recipiente se evaporará parcialmente para establecer una presión de vapor encima del líquido que depende de la naturaleza de éste, y es, en el equilibrio constante a cualquier temperatura establecida. Mientras se mantiene ésta el líquido no exhibe más tendencia a evaporarse, pero a una presión menor hay una nueva transformación hacia la fase de gas, y a otra más elevada se verifica una condensación, hasta restablecer la presión de equilibrio.

La presión de vapor de un líquido es constante a una temperatura dada, pero aumenta si lo hace la temperatura hasta el punto crítico del líquido.

#### PROCESO DE LA SEPARACION DEL GAS Y ACEITE

El proceso de la separación del gas y el aceite procedente de un yacimiento, se realiza en dos formas: Separación instantánea (flash) y separación diferencial. En la primera, las fases; gaseosa liberada por abatimiento de presión y la líquida permanecen en contacto durante todo el proceso de separación, manteniéndose constante la composición en el sistema. En la segunda,

el gas es removido del sistema conforme éste se libera del aceite, por lo que la composición en el sistema es variable. Comparando la cantidad de gas que se libera del aceite, se ha determinado que en la separación instantánea hay una mayor liberación de gas, lo que causa una menor recuperación de aceite. Por lo tanto, el proceso de separación diferencial, propicia una mayor recuperación de hidrocarburos líquidos.

#### PROBLEMAS RESUELTOS

- 1.- Determinar la capacidad de aceite y gas que manejará un separador vertical, si se tiene la siguiente información:

Diámetro exterior (Dext) = 30 pg

Longitud del separador (L) = 10 pie

Presión de diseño (Pd) = 1000 lb/pg<sup>2</sup>

Presión de operación (Pop) = 500 lb/pg<sup>2</sup>

Altura de líquido (h) = 30 pg

Solución:

De la Fig. (III.16) y la información anterior:

$$q_0 = 2700 \text{ bl/día a condiciones estándar.}$$

De la Fig. (III.15) y la información anterior:

$$q_g = 14 \text{ MM pie}^3/\text{día a condiciones estándar.}$$

2. Diseñar el o los separadores horizontales, dadas las siguientes condiciones:

$$RGA = 1500 \text{ pie}^3/\text{bl}$$

$$q_0 = 50000 \text{ bl/día a condiciones estándar}$$

$$Pop = 345 \text{ lb/pg}^2$$

Solución:

Se determina el gasto de gas a condiciones estándar:

$$q_g = q_0 \times RGA = 50000 \times 1500 = 75 \text{ MM pie}^3/\text{día}$$

Primero se debe cumplir con la capacidad de gas. Con el gasto de gas de  $75 \text{ MM pie}^3/\text{día}$  y la (fig. III.17) se observa que no se puede intersectar la recta de la presión de operación de  $345 \text{ lb/pg}^2$ , por lo que se procede a dividir el gasto de gas entre tres, para hacer el diseño de tres separadores, cada uno de los cuales maneje  $25 \text{ MM pie}^3/\text{día}$ . Con esta información y de la figura III.17 se obtienen tres separadores con las siguientes características: diámetro exterior de 48 pg, presión de diseño  $500 \text{ lb/pg}^2$  altura del líquido 20pg (está dentro de las condiciones establecidas). Para la verificación de los resultados se comprueba que los separadores elegidos cumplan con la capacidad del líquido. Con el tiempo de retención de un minuto ya que la presión de operación es menor de  $600 \text{ lb/pg}^2$ , le corresponde un gasto de aceite de 16667 bl/día (fig. III.18) lo anterior no cumple para la capaci

dad de líquido pues la altura de líquido es de 24 pg, por lo que se procede a una nueva elección o subdivisión del gasto de gas y aceite.

Ahora dividiendo el gasto para ser manejado por siete separadores : el gasto de gas es de 10.72 MM pie<sup>3</sup>/día, el gasto de aceite es de 7143 bl/día.

Nuevamente de la (fig. III.17), se tiene que el gasto de gas de 10.72 MM pie<sup>3</sup>/día puede ser manejado por un separador con las siguientes características: diámetro exterior 36 pg, presión de diseño 500 lb/pg<sup>2</sup> y una altura de líquido 17 pg. Verificando con la capacidad de líquido manejada, de la (fig. III.18) se obtiene el siguiente diseño; diámetro exterior 36 pg y tiempo de retención de un minuto, altura del líquido es de 15 pg, por lo que cumple con los requerimientos para la capacidad de gas y líquido.

Por lo tanto el diseño es de un tren con siete separadores, cada uno con las siguientes características:

Diámetro exterior = 36 pg.

Longitud del separador = 10 pie

Presión de diseño = 500 lb/pg<sup>2</sup>

Altura del líquido = 17 pg.

3.- Sea un sistema de tres etapas de separación, en la que por

medio de una correlación de flujo multifásico en tuberías horizontales se conoce la presión con la que entra la mezcla al sistema la cual es de  $825 \text{ lb/pg}^2$  abs. y la presión en el tanque de almacenamiento es la atmosférica. Determinar la presión en la segunda etapa de separación aplicando la relación de Frick.

Solución:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{P_2}{P_3} = R \quad \dots(1)$$

$$P_2 = R P_3 \quad \dots(2)$$

$$P_1 = R P_2 \quad \dots(3)$$

Substituyendo la ec. 2 en 3 y despejando R.

$$R = P_1/P_3 = 825/114.7 = 7.19$$

Substituyendo R en la ec. 2

$$P_2 = 110 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs. (en la segunda etapa).}$$

- 4.- Determinar para la segunda etapa de separación el dimensionamiento para un separador vertical utilizando el método gráfico. Dada la siguiente información:

$$P_{op} = 700 \text{ lb/pg}^2$$

$$q_g = 12.5 \text{ MM pie}^3/\text{día a condiciones estándar.}$$

$q_0 = 3300 \text{ bl/día a condiciones estándar.}$

Solución:

De la (fig. III.16) y con el gasto de aceite de 3300 bl/día.

Altura de líquido = 45 pg

Diámetro exterior = 24 pg

Presión de diseño =  $1000 \text{ lb/pg}^2$  (separador nuevo).

De la (fig. III.15) con la información obtenida anteriormente, se determina la capacidad de gas a manejar,  $12.5 \text{ MM pie}^3/\text{día}$  a condición estándar. Por lo que cumple con la información anterior.

5.- Determinar la capacidad de manejo de líquido y gas en la segunda etapa de separación para un separador vertical bajo las siguientes condiciones:

$d = 1.1825 \text{ pie}$	$P_s = 14.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$
$h = 1.3333 \text{ pie}$	$T_s = 60^\circ\text{F}$
$P_f = 814.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$	$\rho_L = 45^\circ \text{ API}$
$T_f = 75^\circ\text{F}$	$\sigma_g = 0.70 \text{ (aire = 1)}$

$$R_s = 1409 \text{ pie}^3/\text{bl}$$

Solución:

Considerando  $Z_f = 1$  y suponiendo que el diámetro de las gotas de aceite es de 100 micras la ec. 3.18 toma la siguiente forma:

$$q_{sg} = 0.4622 \frac{P_f}{T_f} \frac{(P_p - P_g)}{\mu_g} d^2 \quad \dots (1)$$

- Cálculo de  $\rho_g$  a  $P_f$  y  $T_f$ .

Para un gas con las siguientes condiciones:

$$\rho_g = 0.70$$

$$P_f = 814.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

Se tiene un valor de  $Z_f = 0.85$  (referencia 5), con éste y los datos anteriores se obtiene la densidad del gas.

$$\rho_g = 3.4 \text{ lb}_m / \text{pie}^3 = 0.06 \text{ gr/cm}^3$$

- Cálculo de  $\mu_g$ .

Calculando mediante la correlación de Lee se tiene:

$$\mu_g = 124.48 \times 10^{-4} \text{ cp} = 8.37 \times 10^{-6} \text{ lb}_m/\text{pie-seg}$$

- Cálculo de  $q_{sg}$  a condiciones estándar.

Como  $P_L = 45^\circ\text{API}$  entonces:

$$\rho_p = \frac{141.5}{131.5 + 45} \times 62.4 = 50.03 \text{ lb}_m/\text{pie}^3$$

Substituyendo los valores correspondientes en la ecuación 1.

$$q_{sg} = 5.5 \times 10^6 \text{ pie}^3/\text{día a c.s.}$$

- Cálculo de  $q_{s1}$  a condiciones estándar.

Obteniendo el factor de volumen del aceite, con la corre-

lación de Standig (referencia 4), se tiene:

$$B_0 = 1.1780 \frac{\text{blo a c.y.}}{\text{blo a c.s.}}$$

De la ecuación 3.21 con un tiempo de retención de 0.8333 min. y substituyendo los datos correspondientes se obtiene que:

$$q_{s1} = 383 \text{ blo/día a c.s.}$$

### PROBLEMAS PROPUESTOS

#### SERIE 1.III

- 1.1.- ¿Qué se entiende por condensación de gas?
- 1.2.- ¿Por qué es recomendable instalar depuradores antes de las compresoras?
- 1.3.- ¿Qué es una mampara?
- 1.4.- ¿De qué factores depende la caída de presión en los extractores de malla de alambre entretejido?
- 1.5.- ¿De qué factor depende el número de etapas de separación?
- 1.6.- Definir: cromatografía.
- 1.7.- De un análisis P V T se obtuvo la siguiente información:

$$\text{Densidad de la partícula} = 45.763 \text{ lb}_m/\text{pie}^3.$$

$$\text{Densidad del gas} = 4.7407 \text{ lb}_m/\text{pie}^3.$$

$$\text{Viscosidad del gas} = 7.12 \times 10^{-3} \text{ lb/pie-seg.}$$

Determinar la velocidad de asentamiento de la partícula

en pie/seg y m/seg. Se sabe que el flujo es horizontal.

Sol.  $V_t = 1.1 \text{ pie/seg} = 0.33528 \text{ m/seg}$ .

- 1.8.- En el laboratorio se realizo un análisis PVT, obteniéndose se la siguiente información:

Densidad de la partícula =  $50 \text{ lb}_m/\text{pie}^3$ .

Densidad del gas =  $3.084 \text{ lb}_m/\text{pie}^3$ .

Viscosidad del gas =  $0.01396 \text{ cp}$ .

Calcular el diámetro de la partícula en pie y en micras.

Se sabe que el gasto de gas en el separador es de  $9.4324 \text{ pie}^3/\text{seg}$  a condiciones estándar y el diámetro interior del separador es de  $1.1825 \text{ pie}$ .

Sol.  $d_p = 9.798 \times 10^{-4} \text{ pie} = 298.65 \text{ micras}$

### SERIE 2.III

2.1.- ¿Cuáles son los separadores convencionales?

2.2.- Describir brevemente los mecanismos de separación.

2.3.- ¿Qué sucede al aumentar el tamaño de las partículas del líquido?

2.4.- Definir:

a) Presión de separación

b) Temperatura de separación

2.5.- ¿Cuáles son los factores que intervienen en la capacidad

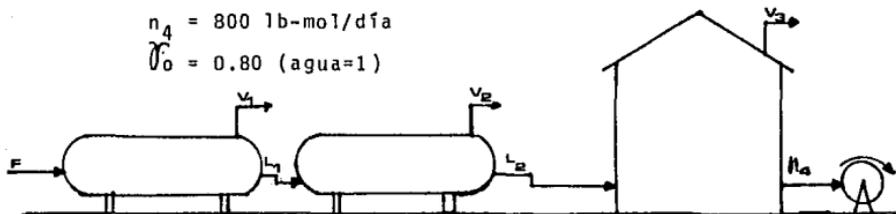
de separación del gas?.

2.6.- ¿Qué es una etapa de separación?.

2.7.- De una batería de separación con tres etapas de separación se obtuvo la siguiente información:

$$n_4 = 800 \text{ lb-mol/día}$$

$$v_0 = 0.80 \text{ (agua=1)}$$



$$T_1 = 90^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 70^\circ\text{F}$$

$$T_3 = 68^\circ\text{F}$$

$$P_1 = 300 \text{ lb/pg}^2$$

$$P_2 = ?$$

$$P_3 = 14.7 \text{ lb/pg}^2$$

$$v_1 = 0.80$$

$$v_2 = ?$$

$$v_3 = 0.20$$

	$x_1$	$y_1$	PM	$K_2$	$x_3$	$y_3$	$K_3$
$C_1$	0.17256	0.69024	16.043	20	0.002	.0234	110
$C_2$	0.25062	0.20551	30.070	6.5	0.008	.0300	25
$C_3$	0.27230	0.07624	44.097	1.7	0.200	.2000	6
$nC_4$	0.30454	0.02801	58.124	.20	0.790	.7466	1.8

Determinar:

- a) Gasto de aceite y gas en la segunda etapa de separación a condiciones estándar.

Sol.  $q_{g2} = 1\,138\,485 \text{ pie}^3/\text{día a c.s.}$

$$q_{o2} = 218.53 \text{ bl/día a c.s.}$$

- b) La relación gas-aceite total.

$$\text{Sol. } RGA_T = 936 \text{ m}^3/\text{bl}$$

c) Presión en la segunda etapa de separación.

$$\text{Sol. } P_2 = 46.14 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

d) Dimensionamiento del o los separadores en la segunda etapa de separación.

e) Diámetro de la válvula de seguridad.

$$\text{Sol. } d = 1.115 \text{ pg}$$

f) De la segunda etapa de separación:

El factor de compresibilidad, (Sol.  $Z = 0.98$ )

La densidad del gas, (Sol.  $\rho_g = 0.2874 \text{ lb/pie}^3$ )

Viscosidad del gas y (Sol.  $\mu_g = 0.0622 \text{ cp}$ )

Area de flujo del o los separadores

$$\text{(Sol. } Af = 3.440 \text{ pie}^2\text{).}$$

2.8.- Dada la siguiente información:

$$L = 10 \text{ pie.}$$

$$d_o = 24 \text{ pg.}$$

$$h = 12 \text{ pg.}$$

$$B_o = 1$$

$$T_s = 60^\circ\text{F.}$$

$$P_s = 14.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$\text{Presión antes del separador} = 600 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$T_f = 70^\circ\text{F} \quad \rho_L = 40^\circ\text{API Pd} = 500 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

Componente	Zi	Yi
C <sub>1</sub>	0.10122	0.44537
C <sub>2</sub>	0.14490	0.26085
C <sub>3</sub>	0.28755	0.17253
nC <sub>4</sub>	0.46633	0.12125

Calcular para la segunda etapa de separación la capacidad de manejo de líquido y gas de un separador horizontal, a condiciones estándar.

Sol.  $q_{sl} = 3966.31$  bl/día a c.s.  
 $q_{sg} = 274\ 639$  pie<sup>3</sup>/día a c.s.

### SERIE 3.III

- 3.1.- ¿Cuáles son los factores que se deben considerar para calcular la capacidad de manejo de líquido en los separadores verticales?.
- 3.2.- Definir:
- Area de flujo
  - Tiempo de retención.
- 3.3.- ¿Cuáles son las consideraciones que se toman en cuenta para establecer la ecuación de capacidad de manejo del gas en separadores horizontales?.
- 3.4.- ¿Qué sucede si se aumenta el tiempo de retención?.
- 3.5.- El nivel de líquido tanto en separadores horizontales como verticales no debe exceder un límite. Diga usted cuál es ese límite.

3.6.- ¿Qué se entiende por depuradores?

3.7.- Determinar el dimensionamiento del o los separadores que se diseñarán en la segunda etapa de separación de una batería de tres etapas utilizando la siguiente información:

Presión en la primera etapa = 350 lb/pg<sup>2</sup> abs.

Temperatura en las tres etapas = 90°F

Gasto de aceite a c.s. = 5000 m<sup>3</sup>/día

Densidad del aceite = 40 °API

Densidad del gas = 0.70 (aire = 1)

Viscosidad del aceite = 4 c.p.

Viscosidad del gas = 0.03 c.p.

Componente	Fracción mol	Peso molecular
C <sub>1</sub>	0.300	16.01
C <sub>2</sub>	0.200	30.07
C <sub>3</sub>	0.500	44.097

Además calcular el diámetro de la válvula de seguridad de cada separador. (Sol. d = 0.8815 pg).

3.8.- En una central de recolección con tres etapas de separación se obtuvo la siguiente información:

Componente	Fracción mol
C <sub>1</sub>	0.40
C <sub>2</sub>	0.20
C <sub>3</sub>	0.10

Componente	Fracción mol
C <sub>4</sub>	0.10
C <sub>5</sub>	0.10
C <sub>6</sub>	0.05
C <sub>7</sub> -C <sub>8</sub> <sup>+</sup>	$\frac{0.05}{1.00}$

$$P_1 = 500 \text{ lb/pg}^2$$

$$T_{op} = 60^\circ\text{F}$$

$$q_o = 3000 \text{ bl/día a condiciones de tanque.}$$

$$\gamma_o = 40^\circ \text{ API}$$

$$\gamma_g = 0.65 \text{ (aire = 1)}$$

$$\text{RGA} = 170 \text{ m}^3/\text{bl}$$

$$\mu_g = 0.01 \text{ c.p.}$$

$$\mu_o = 8 \text{ c.p.}$$

Determinar para la segunda etapa:

- La presión óptima de operación (Sol. 53 lb/pg<sup>2</sup>).
- El gasto de gas a manejar a condiciones estándar. (Sol. 3563400 pie<sup>3</sup>/día)
- El dimensionamiento del o los separadores utilizando el método gráfico.
- El diámetro de la válvula de seguridad de cada separador. (Sol. d = 1.73 pg).

#### SERIE 4.III

- ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los separadores horizontales?
- ¿Cuales son las partes principales de una unidad de separación a baja temperatura ?.
- ¿Por qué se optimiza la presión de separación?.

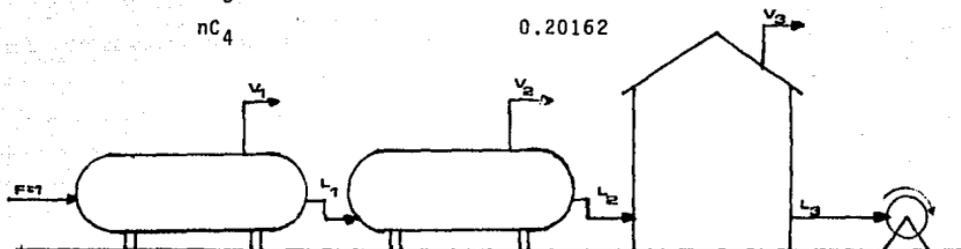
4.4.- Hacer el desarrollo para obtener  $X_i = Z_i / ((K_i - 1)V + 1)$ .

4.5.- ¿Cuáles son los factores que se obtienen de un balance de materia?.

4.6.- En una central de recolección con tres etapas de separación se tiene la siguiente información:

Componente	Fracción mol ( $Z_i$ )
------------	------------------------

$C_1$	0.36523
$C_2$	0.23383
$C_3$	0.19932
$nC_4$	0.20162



$$P_1 = 825 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.} \quad P_2 = ? \quad P_3 = P_{\text{atm}}$$

$$T_1 = 150^\circ\text{F} \quad T_2 = 60^\circ\text{F} \quad T_3 = 60^\circ\text{F}$$

Determinar:

- La presión de la segunda etapa. (Sol. 52.53 lb/pg<sup>2</sup> abs.)
- La relación gas-aceite total.

$$\text{Sol. } RGA_T = 5097.5 \text{ pie}^3/\text{bl}$$

SERIE 5.III

- 5.1.- ¿Por qué se instalan válvulas de seguridad en los separadores, en una central de recolección?
- 5.2.- ¿Qué información se requiere para aplicar el método de mínimos requerimientos por compresión?
- 5.3.- ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los separadores verticales?
- 5.4.- ¿Cuál es la función del eliminador de agua libre?
- 5.5.- ¿Cuáles son los accesorios principales de un separador vertical?
- 5.6.- Describir brevemente los diferentes tipos de controladores de nivel.
- 5.7 - Determinar la presión óptima de separación en la segunda etapa de separación en un sistema de tres etapas, si la presión a la entrada del sistema es de  $1073 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs}$  con una temperatura de  $183^\circ\text{F}$ , la temperatura en la segunda etapa es de  $172^\circ\text{F}$  y la presión en la tercera etapa es de  $14.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs}$  con una temperatura de  $110^\circ\text{F}$ .

Se sabe que la densidad relativa del gas es de 0.7 y el gasto de aceite es de 1000 bl/día con una densidad de 40° API.

Utilizar el método de mínimos requerimientos por compresión.

$$\text{Sol. } \text{HP}_{\min} \approx 31 \text{ HP} \quad P_2 \approx 250 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

## G L O S A R I O

Aceite y gas estabilizados:

Un aceite estabilizado no experimenta pérdidas substanciales por vaporización durante su manejo, almacenamiento y bombeo.

Un gas estabilizado no forma condensados al someterse a cambios de presión y temperatura durante su transporte por tuberías superficiales.

Presión de Convergencia:

El valor de presión para el cual las constantes de equilibrio convergen a la unidad.

Constantes de Equilibrio:

Es la razón de la fracción molar del componente en la fase gaseosa (Y), a la fracción molar del componente en la fase líquida (X):  
 $K = Y/X.$

Sistema homogéneo de hcs:

Es en el cual todas las partes del sistema tienen las mismas propiedades físicas y químicas.

Composición de la Mezcla:

Combinación de los compuestos de la mezcla de hidrocarburos, ésta puede ser presentada en términos de fracción de peso, fracción de volumen o fracción molar.

**Sistema Multi  
componente:**

Es cuando se definen las condiciones para que el gas y el líquido se presenten en equilibrio.

**Aceite Saturado:**

Es aquél que a las condiciones de presión y temperatura a que se encuentra está en equilibrio con su gas, por lo general la presión a la que se encuentra es menor que la presión de saturación.

**Aceite Bajo Saturado:**

Es el que, a las condiciones de presión y temperatura a que se encuentra es capaz de disolver más gas, por lo general la presión a la que se encuentra es mayor que la presión de saturación.

**Factor de compresibilidad:**

Es el valor numérico, que representa una medida de la desviación del comportamiento ideal del gas. Varía entre 0.40 y 1.2 el valor de 1.00, representa el comportamiento ideal.

**Factor de Volumen del Gas ( $B_g$ ):**

Es el volumen de gas a las condiciones del yacimiento, requerido para producir 1.0 metro cúbico de gas en la superficie:

$$B_g = \frac{\text{Volumen de gas a c.y.}}{\text{Volumen de gas a c.s.}}$$

Factor de Volumen del aceite ( $B_0$ ):

Es el volumen del aceite del yacimiento requerido para producir 1.0 metro cúbico de aceite medido en la superficie.

$$B_0 = \frac{\text{Vol. de ac. + gd a c.y.}}{\text{Vol. de ac. a c.s.}}$$

Relación gas-aceite instantánea (R):

Es la razón del gasto total de gas (gas libre+gd), a condiciones superficiales al gas de aceite sin gas disuelto a condiciones superficiales para un instante dado.

Relación gas disuelto aceite ( $R_s$ ):

Es la razón del volumen de gas disuelto a la presión y temperatura del yacimiento medido a condiciones superficiales, al volumen de aceite residual y medido también a condiciones superficiales.

$$R_s = \frac{\text{Vol. de gas disuelto a } P_y, T_y \text{ a c.s.}}{\text{Vol. de aceite a c.s.}}$$

## R E F E R E N C I A S

- 1) Gómez Cabrera José A.: "Apuntes de Manejo de la Producción en la Superficie": Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F., Julio de 1986.
- 2) Rodríguez Nieto Rafael: "Apuntes de Principios de Mecánica de Yacimientos"; Facultad de Ingeniería, UNAM; México, D.F.
- 3) Gómez Cabrera José A.: "Apuntes de la Clase de Manejo de la Producción en la Superficie": Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F.
- 4) Garaicochea Petrirena Francisco: "Apuntes de Transporte de Hidrocarburos ": Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F.
- 5) De la Garza Carrasco Nahum: "Apuntes de Fisicoquímica y Termodinámica": Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F.
- 6) "Optimización de las Condiciones de Operación en un Sistema de Separación de Gas - Aceite": IMP: Proyecto: D-3803 Informe No. 1; 1981.

ALMACENAMIENTO DE LOS HIDROCARBUROS PRODUCIDOS

CENTRALES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE

El objetivo de estas parece ser, a primera vista, tan simple como el de recibir el aceite para almacenarlo durante el tiempo que se requiera para su entrega. Pero a causa del carácter volátil de una gran parte de sus componentes este objetivo no llega a cumplirse satisfactoriamente a menos que se disponga de los dispositivos adecuados para impedir las pérdidas que se producen durante la permanencia del aceite en los tanques de almacenamiento, y que dan por resultado una variación en el volumen recibido con respecto al volumen por entregar. Se entiende entonces que el objetivo de las centrales de almacenamiento no sólo es el de almacenar el aceite sino el de conservarlo en su cantidad y calidad durante el tiempo que permanezca en los tanques de la central. Para poder cumplir con lo anterior, se requiere disponer de tanques con características especiales con los cuales se reduzcan y controlen las pérdidas por evaporación.

MEDICION DEL VOLUMEN DE ACEITE

Para medir el volumen de aceite contenido en un tanque de almacenamiento o de medición (prueba) se pueden utilizar dispositivos sofisticados o emplear cinta metálica (graduada) y ploma-

da. Las medidas deben hacerse cuidadosamente, en especial cuando se mide aceite en tanques de gran capacidad, por ejemplo, en un tanque de 55000 bl, un error de sólo tres milímetros en la lectura, representa un error de casi 19 bl. Para realizar mediciones en tanques existen dos procedimientos básicos que son el de "medición a fondo" y el de "medición al vacío".

La medición a fondo se realiza cuando se tiene un aceite con bajo contenido de impurezas, es decir un aceite limpio. En estas la plomada que pende de la cinta, se introduce hasta el fondo del tanque y al sacarla se lee la altura del nivel del líquido en el tanque.

En medición al vacío, se parte de que el tubo en el tanque, tiene una altura conocida (altura de medición), se introduce la cinta permitiendo que la plomada se hunda ligeramente en el aceite contenido en el tanque (altura de la cinta), al sacar la cinta se verá el tramo manchado por el aceite (altura de mojado), y se procederá a tomar la diferencia de alturas para obtener el nivel de aceite en el tanque (altura del fluido). Esta se realiza cuando se tiene un aceite con alto contenido de impurezas.

#### ACCIDENTE DE INCENDIO EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

Para que se pueda producir un accidente de incendio, tienen que concurrir las tres causas siguientes:

1. Tiene que estar presente en forma de vapor un material combustible,
2. Tiene que estar presente el aire, para que se produzca una mezcla combustible, y
3. Tiene que estar presente una fuente de calor que le comunique a la mezcla, la temperatura de ignición.

Si se evita cualquiera de estas tres condiciones, básicas, no se puede producir la combustión.

#### PROBLEMAS RESUELTOS

1. Calcular las pérdidas en el volumen de aceite por respiración (B) y por llenado (B') en un tanque de almacenamiento. Dada la siguiente información:

Diámetro interior del tanque ( $d_i$ ) = 10.649 m.

Presión de vapor real ( $P_v$ ) = 10 lb/pg<sup>2</sup> abs.

Volumen de líquido bombeado al tanque (V) = 3800 bl.

Solución:

Las pérdidas en el volumen de aceite por respiración se obtiene con la siguiente ecuación:

$$B = \frac{P_v \times d_i}{14.5} , \text{ en bl (referencia 1)} \quad \dots (i)$$

Substituyendo la información correspondiente en la ecuación 1 se tiene:

$$B = \frac{10 \times 10.649}{14.5} = 7.34 \text{ bl}$$

Las pérdidas en el volumen de aceite por llenado del tanque que se obtienen con la siguiente ecuación:

$$B' = \frac{3 \times P_v \times V}{10\ 000}, \text{ en bl (referencia 1)} \quad \dots(2)$$

Substituyendo la información correspondiente en la ecuación 2 se tiene:

$$B' = \frac{3 \times 10 \times 3800}{10\ 000} = 11.4 \text{ bl}$$

2. En un tanque de almacenamiento, se instala una válvula de presión y vacío. Dada la siguiente información:

Apertura de la válvula por presión (y) = 16.17 lb/pg<sup>2</sup> man.

Apertura de la válvula por vacío (x) = 6 lb/pg<sup>2</sup> abs.

Volumen de contracción (v) = 100 m<sup>3</sup> de gas.

Temperatura mínima (t) = 60°F

Temperatura máxima (T) = 100°F

Presión de vapor mínima (p) = 8 lb/pg<sup>2</sup> abs.

Presión de vapor máxima (P) = 20 lb/pg<sup>2</sup> abs.

Presión atmosférica (A) = 14.7 lb/pg<sup>2</sup> abs.

Determinar:

- a).- La expansión (E) en  $m^3$ , la cual es una mezcla aire vapor perdida durante un ciclo diario.
- b).- El volumen (Q) ocupado por el vapor formado, debido a la evaporación de un galón de líquido, en  $pie^3$ .

W = 3.785 lb (peso de un galón de líquido).

M = 186.7978 lb/mol-lb (peso molecular del líquido).

NOTA: Las unidades que se dan como dato son las que se utilizan en las ecuaciones.

Solución:

- (a). La expansión (E) se obtiene con la siguiente ecuación:

$$E = \left[ v \times \frac{A-x-p}{A+y-p} \times \frac{T+460}{t+460} \right] - 1 \text{ (referencia 1) } \dots(3)$$

Substituyendo la información correspondiente en la ecuación 3 se tiene:

$$E = \left[ 100 \times \frac{14.7-6-8}{14.7+16.17-20} \times \frac{100+460}{60+460} \right] - 1$$

$$E = 5.935 \text{ m}^3 \text{ de gas.}$$

- (b) El volumen (Q) se obtiene con la ecuación siguiente:

$$Q = 379 \times \frac{H}{M} \times \left( \frac{2 \cdot A}{p + P_m} \right) \times \left( \frac{T_m + 460}{520} \right) \text{ (referencia 1) } \dots (4)$$

Donde:

$$T_m = \frac{t + T}{2} \quad P_m = \frac{p + P}{2}$$

Substituyendo la información que corresponde a cada una de las variables en la ecuación 4 se tiene:

$$Q = 379 \times \frac{3.785}{186.7978} \times \left( \frac{2 \times 14.7}{8 + 14} \right) \times \left( \frac{80 + 460}{520} \right)$$

$$Q = 10.6573 \text{ pie}^3$$

3. Si se tiene un tanque cilíndrico vertical recto. Dada la siguiente información:

Diámetro exterior = 10.00 m.

Diámetro interior = 9.9983 m.

Factor de construcción = 0.73

Tensión máxima permisible = 140 MN/m<sup>2</sup>.

Densidad del líquido = 1000 kg/m<sup>3</sup>.

Aceleración de la gravedad = 9.81 m/seg<sup>2</sup>.

Determinar:

- a).- La altura máxima que puede alcanzar el líquido en el tanque.
- b).- El volumen de metal que se ocupará para construir el

tanque si la altura de borde es de 5 m.

Solución:

(a) Se sabe que:

$$s = \frac{D_{ext} - D_{int}}{2} = \frac{10.00 - 9.9983}{2} = 8.5 \times 10^{-4} \text{ m.}$$

Substituyendo la información correspondiente en la ecuación 4.1 se tiene:

$$h = \frac{8.5 \times 10^{-4} \times 140 \times 10^6 \times 0.73}{4.99915 \times 1000 \times 9.81} = 1.7714 \text{ m.}$$

(b) De la ecuación 4.3 se tiene:

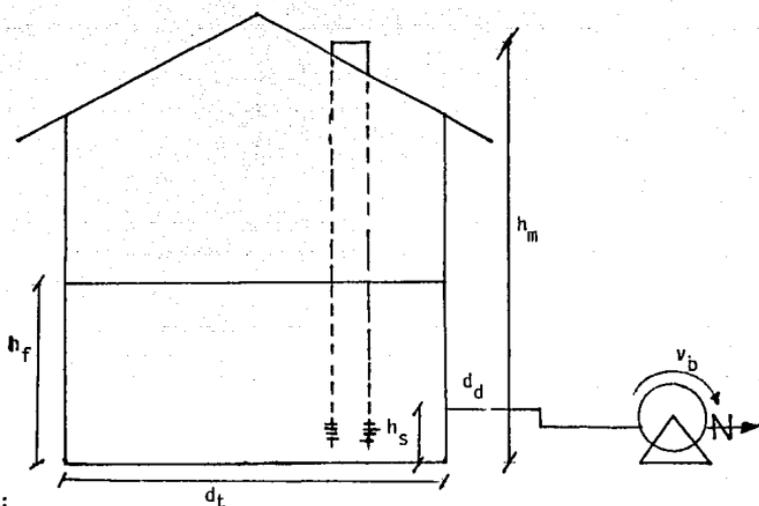
$$V_t = \left( \frac{3.1416 \times (9.9983)^2}{4} \right) \times 5 = 392.6 \text{ m}^3.$$

El volumen de metal se obtiene substituyendo la información correspondiente en la ecuación 4.2. Se considera que:

$$S_2 = \left(\frac{1}{3}\right) \times S_1 \text{ y } S_3 = \left(\frac{2}{3}\right) \times S_1$$

$$V_{me} = 0.30335 \text{ m}^3.$$

4. Obtener el tiempo de descarga del siguiente tanque de almacenamiento.



Donde:

$h_m$  = Altura de medición (m).

$h_f$  = Altura del fluido (m).

$h_s$  = Altura de succión (m).

$d_d$  = Diámetro de la descarga del tanque (m).

$d_t$  = Diámetro interior del tanque (m).

$v_b$  = Velocidad de bombeo (m/seg).

Solución:

El tiempo de descarga se obtiene de la siguiente forma:

$$q_0 = v_b \times A \quad \dots(1)$$

$$A = \frac{\pi \times d_d^2}{4} \quad \dots(2)$$

Substituyendo la ecuación 2 en 1 se tiene:

$$q_o = v_b \times \left( \frac{\pi \times d_d^2}{4} \right) \quad \dots(3)$$

Se sabe que:

$$q_o = \frac{V_{o1}}{t} \quad \text{entonces} \quad t = \frac{V_{o1}}{q_o} \quad \dots(4)$$

El volumen de aceite en el tanque ( $V_{o1}$ ) es

$$V_{o1} = \frac{\pi \times d_t^2}{4} \times (h_f - h_s) \quad \dots(5)$$

Substituyendo las ecuaciones 3 y 5 en la 4 y desarrollando, se tiene, que el tiempo de descarga es:

$$t = \frac{d_t^2 \times (h_f - h_s)}{v_b \times d_d^2}$$

5. En una central de recolección se tienen dos tanques de medición y un tanque de almacenamiento. Dada la tabla siguiente:

HORARIO HRS.	TANQUE 1 (500 bl)	TANQUE 2 (500 bl)	TANQUE 3 (5000 bl)
	"POZO O"		
6:00	0.80 m	0.40 m	1.00 m
		POZO P	
8:00	0.90 m	0.40 m	1.20 m
10:00	1.00 m	0.85 m	1.80 m
12:00	1.50 m	0.95 m	2.10 m
14:00	2.00 m	1.30 m	2.50 m
16:00	C y D	1.35 m	2.70 m
18:00	C y D	C y D	R y D
20:00	C y D	C y D	R y D
	"POZO R"	"POZO Q"	
22:00	1.00 m	0.50 m	0.90 m
24:00	1.20 m	0.75 m	1.20 m
02:00	1.80 m	0.80 m	1.45 m
06:00	2.40 m	1.20 m	1.80 m

Diámetro interior (m).

Altura de succión (m).

$$TQ. 1 = 4.575$$

$$TQ. 1 = 0.40$$

$$TQ. 2 = 4.697$$

$$TQ. 2 = 0.30$$

$$TQ. 3 = 10.649$$

$$TQ. 3 = 0.50$$

Donde:

C = Cerrado

R = Recibe

D = Descarga

Calcular:

- a).- Las existencias (de hoy (EH), de ayer (EA) y muerta (EM)) en b1, dentro de la batería.
- b).- El aceite bombeado en b1/día a condiciones estándar.
- c).- La producción de los pozos en b1/día a condiciones estándar.

Solución:

$$(a) F_T = 7.854 \times 10^{-3} (di^2)$$

$$TQ.1 F_{T1} = 0.1644 \text{ m}^3/\text{cm}$$

$$TQ.2 F_{T2} = 0.1733 \text{ m}^3/\text{cm}$$

$$TQ.3 F_{T3} = 0.8907 \text{ m}^3/\text{cm}$$

- Existencia de ayer (EA).

$$TQ.1 = 80 \times F_{T1} \times 6.29 \text{ b1/m}^3 = 82.73 \text{ b1}$$

$$TQ.2 = 43.60 \text{ b1}$$

$$TQ.3 = 560.25 \text{ b1}$$

$$EA = TQ.1 + TQ.2 + TQ.3 = 687 \text{ b1 de aceite.}$$

- Existencia de hoy (EH),

$$TQ.1 = 240 \text{ cm} \times F_{T1} \times 6.29 = 248.18 \text{ b1}$$

$$TQ.2 = 120 \text{ cm} \times F_{T2} \times 6.29 = 130.81 \text{ b1}$$

$$TQ.3 = 180 \text{ cm} \times F_{T3} \times 6.29 = 1008.45 \text{ b1}$$

$$EH = TQ.1 + TQ.2 + TQ.3 = 1387 \text{ b1 de aceite.}$$

- Existencia muerta (EM).

$$TQ.1 = \text{Altura de succ. del TQ.1 (cm)} \times F_{T1} \times 6.29 =$$

$$TQ.1 = 41.36 \text{ bl}$$

$$TQ.2 = 32.70 \text{ bl}$$

$$TQ.3 = 280.13 \text{ bl}$$

$$EM = 354.19 \text{ bl de aceite.}$$

(b) Producción de la batería para 2 hr. de 6:00 a 8:00

$$TQ.1 = \frac{(90-80) \text{ cm} \times F_{T1}}{2 \text{ hrs}} \times \frac{24 \text{ hrs}}{1 \text{ día}} \times 6.29 \frac{\text{bl}}{\text{m}}$$

$$TQ.1 = 124.09 \text{ bl/día}$$

$$TQ.2 = 0.000$$

$$TQ.3 = 1344.60 \text{ bl/día}$$

$$P_1 = TQ.1 + TQ.2 + TQ.3 = 1469 \text{ bl/día}$$

Producción de la batería para 6 hrs. de 8:00 a 14:00

$$TQ.1 = 455 \text{ bl/día}$$

$$TQ.2 = 392.42 \text{ bl/día}$$

$$TQ.3 = 2913.30 \text{ bl/día}$$

$$P_2 = 3760.72 \text{ bl/día}$$

Producción de la batería para 8 hrs. de 22:00 a 06:00

$$TQ.1 = 434.31 \text{ bl/día}$$

$$TQ.2 = 228.91 \text{ bl/día}$$

$$TQ.3 = 1512.68 \text{ bl/día}$$

$$P_3 = 2175.9 \text{ bl/día}$$

$$- \text{ Producción de hoy (PH)} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3} = 2469 \text{ bl/día.}$$

$$- \text{ Bombeo} = EA + PH - EH = 1769 \text{ bl/día a c.s.}$$

- (c) Producción de los pozos O, P, Q y R en bl/día a condiciones estándar.

$$P_O = (200 - 80) \times F_{T1} \times (24/8) \times 6.29 = 372.27 \text{ bl/día a c.s.}$$

$$P_P = 310.67 \text{ bl/día a c.s.}$$

$$P_Q = 229 \text{ bl/día a c.s.}$$

$$P_R = 434.31 \text{ bl/día a c.s.}$$

### PROBLEMAS PROPUESTOS

#### SERIE 1.IV

- 1.1.- ¿Cuáles son las características de los tanques de almacenamiento atornillados?.
- 1.2.- ¿Cuáles son las características de los tanques de almacenamiento soldados?.
- 1.3.- ¿Qué sucede al aumentar la temperatura en los tanques de almacenamiento?.
- 1.4.- ¿A qué prueba se somete un tanque de almacenamiento nuevo y uno reparado?.
- 1.5.- ¿Cuándo es necesario usar los tanques de techo fijo y cuándo los de techo flotante?.
- 1.6.- Calcular, dada la siguiente información:

Altura de borde del tanque = 800 cm.

Altura máxima del líquido en el tanque = 157.5 pg.

Diámetro exterior del tanque = 600 cm.

Densidad del líquido = 1 gr/cm<sup>3</sup>.

Tensión máxima permisible = 105 MN/m<sup>2</sup>

Factor de construcción = 0.72

(a) El espesor de la placa de acero.

Sol.  $S = 1.5571 \times 10^{-3}$  m.

(b) El máximo esfuerzo permisible a la compresión longitudinal ( $S_{cs}$  en lb/pg<sup>2</sup>) y el máximo esfuerzo permisible a la compresión ( $S_{ca}$  en lb/pg<sup>2</sup>).

Sol.  $S_{cs} = 300$  lb/pg<sup>2</sup>,  $S_{ca} = 166.67$  lb/pg<sup>2</sup>.

(c) El volumen de metal para construir el tanque en m<sup>3</sup>.

Sol.  $V_{me} = 0.4599$  m<sup>3</sup>.

1.7.- Dada la siguiente información:

Diámetro exterior = 600 cm.

Diámetro interior = 19.682 pie.

Tensión máxima permisible = 140 MN/m<sup>2</sup>

Factor de corrección = 0.72

Densidad del líquido = 1000 kg/m<sup>3</sup>.

Calcular:

(a) La altura máxima de líquido en el tanque.

Sol.  $h = 2.38$  m.

(b) El  $S_{cs}$  en lb/pg<sup>2</sup>. Sol.  $S_{cs} = 150$  lb/pg<sup>2</sup>.

(c) El Sca en  $\text{lb/pg}^2$ . Sol. Sca =  $83.333 \text{ lb/pg}^2$ .

#### SERIE 2.IV

- 2.1.- ¿Que factores se toman en cuenta para el diseño de las válvulas de presión y de vacío?.
- 2.2.- ¿Cuál es el funcionamiento de un tanque de almacenamiento con techo de diafragma?.
- 2.3.- ¿Cuándo se usan los tanques de almacenamiento esféricos?.
- 2.4.- ¿Cuáles son las causas, problemas que ocasionan y cómo se controlan las pérdidas por evaporación?.
- 2.5.- ¿Cuál es la relación entre la presión de vapor y la densidad API?.
- 2.6.- Calcular las pérdidas en el volumen de aceite por respiración (B) en bl. Dada la siguiente información:
- Diámetro interior del tanque ( $d_i$ ) = 19.68 pie.  
Presión de vapor real ( $P_v$ ) =  $5.3 \text{ lb/pg}^2$  man.  
Sol. B = 8.27 bl.

2.7 Dada la tabla siguiente:

HORARIO hrs.	TANQUE 1 (1000 bl)	TANQUE 2 (1500 bl)	TANQUE 3 (5000 bl)
		"POZO Y"	
6:00	1.10 m	0.90 m	0.90 m
	"POZO X"		
8:00	1.10 m	1.05 m	1.30 m
10:00	1.20 m	1.30 m	1.70 m
12:00	1.30 m	1.40 m	2.10 m
14:00	1.40 m	1.55 m	2.50 m
15:00	1.45 m	1.65 m	R y D
16:00	1.50 m	1.70 m	R y D
17:00	1.60 m	C y D	R y D
18:00	1.70 m	C y D	R y D
20:00	1.90 m	C y D	R y D
22:00	2.05 m	C y D	R y D
23:00	C y D	C y D	R y D
		"POZO Z"	
24:00	C y D	0.90 m	1.70 m
02:00	C y D	1.35 m	2.10 m
04:00	C y D	1.70 m	2.50 m
06:00	1.10 m	1.95 m	2.90 m
Altura de Succión	.40 m	.30 m	.50 m
Diámetro interior	6.594 m	6.575 m	10.649 m

Calcular:

(a) Las existencias (EA, EH, EM) en bl.

Sol. EA = 933 bl, EH = 2277 bl, EM = 430 bl.

(b) La producción y el bombeo en bl/día a condiciones estándar.

Sol. Producción = 3286 bl/día a c.s.

Bombeo = 1894 bl/día a c.s.

(c) La producción de los pozos X,Y,Z en bl/día a condiciones estándar.

Sol. Prod. pozo X = 350 bl/día a c.s.

Prod. pozo Y = 410 bl/día a c.s.

Prod. pozo Z = 897 bl/día a c.s.

### SERIE 3. IV

3.1.- ¿Qué se entiende por pérdida de evaporación por respiración y pérdida por fuerza del viento?

3.2.- ¿Cuál es la clasificación de tanques de almacenamiento adoptada por el API?

3.3.- ¿De qué tipo son los tanques que pueden encontrarse en la mayoría de las centrales de almacenamiento?

3.4.- La parte más baja de la coraza de un tanque de almacenamiento, tiene tres pares de bridas para conexiones de tubería. Explicar; ¿para qué funcionan cada una de éstas?

3.5.- ¿Cuáles son los accesorios generalmente instalados en los tanques de almacenamiento?

3.6.- Se tiene un tanque cilíndrico vertical recto de acero inoxidable. Dada la siguiente información:

Diámetro exterior del tanque = 500 cm.

Diámetro interior del tanque = 499.2 cm.

Determinar:

- (a) La altura de líquido (en m) esperada en el tanque si la tensión máxima permisible es de  $140 \text{ MN/m}^2$ , el factor de construcción es de 0.72 y la densidad de líquido de  $1 \text{ gr/cm}^3$ .

Sol.  $h = 1.644037 \text{ m}$ .

- (b) El volumen de metal en  $\text{m}^3$  si la altura de borde del tanque es de 7.5 m.

Sol.  $V_{\text{me}} = 0.0914 \text{ m}^3$ .

3.7.- Dada la siguiente información:

HORARIO hrs.	TANQUE 1 (500 b1)	TANQUE 2 (500 b1)	TANQUE 3 (5000 b1)
	"POZO A"	"POZO B"	
6:00	0.80 m	0.40 m	1.00 m
10:00	1.00 m	0.85 m	1.80 m
14:00	2.00 m	1.30 m	2.50 m
18:00	C y D	C y D	3.20 m
	"POZO X"	"POZO M"	
22:00	1.00 m	0.50 m	R y D
02:00	1.80 m	0.80 m	0.65 m
06:00	2.40 m	1.20 m	1.20 m
Diámetro interior	4.575 m	4.700 m	9.147 m
Altura de Succión	0.40 m	0.30 m	0.50 m

Calcular:

(a) Las existencias (EA, EH, EM) en bl

Sol. EA = 590 bl, EH = 875 bl, EM = 481 bl.

(b) Producción de cada pozo en bl/día a condiciones estándar.

Sol. Prod. pozo A = 372 bl/día a c.s.

Prod. pozo B = 294 bl/día a c.s.

Prod. pozo M = 229 bl/día a c.s.

Prod. pozo X = 434 bl/día a c.s.

(c) Producción de la batería y bombeo en bl/día a condiciones estándar.

Sol. Producción batería = 2086 bl/día a c.s.

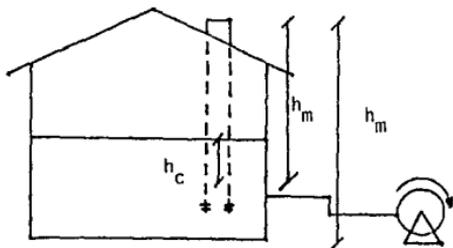
Bombeo = 1751 bl/día a c.s.

#### SERIE 4.IV

- 4.1.- ¿Cuál es la función de espaciamiento entre tanques de almacenamiento contiguos?
- 4.2.- ¿Cuáles son las recomendaciones para la instalación de los tanques de almacenamiento?
- 4.3.- Por qué es provocada la corrosión en el espacio destinado a vapores, en un tanque de almacenamiento?
- 4.4.- ¿Cómo se pueden prever los incendios en los tanques de almacenamiento?

4.5.- ¿Cuáles son las causas más comunes de incendios en los tanques de almacenamiento?.

4.6.- Obtener el nivel de líquido del tanque de medición con ayuda de la siguiente información:



Donde:

$h_m$  = Altura de medición (15 m),

$h_m$  = Altura de mojado (2 m),

$h_c$  = Altura de la cinta (8 m)

Sol. Altura de líquido (Hl) = 11 m.

4.7.- Calcular la producción y el bombeo (bl/día) a condiciones estándar de la batería XY (se sabe que el pozo A es exploratorio y el pozo B está incluido en el total de pozos), además calcular:

- La producción a condiciones estándar que aportó el pozo A durante el tiempo de aforo (considerar que el pozo quedó cerrado a las 22 hrs. por fuga en la tubería de descarga).

Utilizar la siguiente tabla:

HORARIO hrs	TANQUE 1 (10 000 bl)	TANQUE 2 (500 bl)	TANQUE 3 (500 bl)
6:00	0.48 m	1.25 m	1.00 m
10:00	1.00 m	"POZO A"	"POZO B"
14:00	2.00 m	1.25 m	- -
18:00	2.80 m	1.30 m	- -
22:00	3.30 m	1.40 m	1.00 m
02:00	R y D		1.80 m
06:00	0.80 m	1.25 m	2.00 m
Perímetro interior	40.78 m	14.69 m	12.58 m
Altura de medición	12.36 m	4.96 m	5.16 m

Sol. Producción batería XY = 3521 bl/día a c.s.

Bombeo batería XY = 3176 bl/día a c.s.

Producción del pozo A = 49 bl/día a c.s.

#### SERIE 5.IV

- 5.1.- ¿Qué tipo de tanques son recomendables usar para el almacenamiento de gas?.
- 5.2.- ¿Qué se entiende por punto de referencia con respecto a la medición?.
- 5.3.- ¿Para qué, se inspeccionan los tanques?.
- 5.4.- ¿Qué precauciones se toman en cuenta para realizar una buena medición?.
- 5.5.- ¿Cómo se pueden prever los riesgos por electricidad estática?.

5.6.- Calcular la expansión (E) en  $m^3$  y el volumen (Q) (en  $pie^3$ ) ocupado por el vapor formado debido a la evaporación de un galón líquido. Dada la siguiente información:

$$\text{Peso molecular del líquido (M)} = 196.998 \frac{lb}{mol-lb}$$

$$\text{Presión de apertura de la válvula (y)} = 31.87 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$\text{Presión de apertura por vacío (x)} = 5 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$\text{Volumen de contracción (v)} = 150000 \text{ lt. de gas.}$$

$$\text{Temperatura mínima (t)} = 299.67^\circ K$$

$$\text{Temperatura máxima (T)} = 580^\circ R$$

$$\text{Presión de vapor mínima a t (p)} = 7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$\text{Presión de vapor máxima a T (P)} = 10.3 \text{ lb/pg}^2 \text{ man.}$$

$$\text{Presión atmosférica (A)} = 14.7 \text{ lb/pg}^2$$

$$\text{Sol. Expansión (E)} = 62.32 \text{ m}^3.$$

$$\text{Volumen (Q)} = 10.03 \text{ pie}^3.$$

5.7.- Calcular las pérdidas por llenado (B') en bl, en un tanque de almacenamiento. Dada la siguiente información:

$$\text{Presión de vapor real (Pv)} = 5.3 \text{ lb/pg}^2 \text{ man.}$$

$$\text{Vol. de líquido bombeado al tanque (V)} = 112 \text{ 938 gal.}$$

$$\text{Sol. B'} = 16.134 \text{ bl.}$$

## G L O S A R I O

- Pontones:** Placas de acero colocadas en la parte superior del tanque de almacenamiento con techo flotante.
- Válvula de presión y de vacío:** Son válvulas que se colocan en la parte superior del tanque de almacenamiento, cuando se represiona el tanque y se vacia éstas abren.
- Indicadores de nivel:** Sirven para indicar el nivel de líquido que se tiene en el tanque.
- Manhole:** Es un registro de hombre el cual sirve para darle limpieza al tanque.
- Flotador:** Esfera hueca que flota dentro del tanque, la cual sirve para controlar el nivel de líquido.
- Crudo ligero:** Son aquellos que contienen hidrocarburos ligeros como gasolinas, kerosenas, etc.
- Tensión:** Reacción de un cuerpo elástico ante las fuerzas que tienden a deformarlo.

- Compresión:** Es el efecto de presionar un gas de manera que se reduzca su volumen.
- Coraza:** Revestimiento metálico del tanque es decir cuerpo del tanque.
- Esfuerzo:** Acción que ejercida sobre una pieza por fuerzas exteriores, tiende a alargarla, comprimirla, cortarla, doblarla o torcerla.
- Grado de acero:** Es el estado, valor y calidad del mismo, el cual está en función de su dureza y elasticidad.
- Gas licuado:** El gas que está en estado líquido el cual al depresionarse pasa a estado gaseoso.
- Acido sulfhídrico:** Símbolo ( $H_2S$ ), está compuesto de azufre e hidrógeno. Es un gas incoloro, de olor a huevo podrido, soluble en el agua.
- Arresta flama:** Es una válvula del tipo horizontal, está diseñada para evitar la propagación de incendio o explosión en las líneas de vapores y generalmente son instaladas en el extremo opuesto a los tanques de almacenamiento.

**Compresora:** Es un dispositivo que sirve para comprimir el gas, dándole a su salida una mayor presión para su transporte.

**Perímetro:** Contorno de una figura geométrica, en un espacio cualesquiera.

## R E F E R E N C I A S

- 1).- Gutiérrez Santamaría Noel; "Apuntes de Plantas de Almacenamiento de Aceite y Gas"; Departamento de Ingeniería de Producción. IMP; México, D.F.
- 2).- Lester Charles Uren; "Ingeniería de Producción del Petr<sup>o</sup>-leo"; Editorial CECSA. México, D.F.
- 3).- Gómez Cabrera José A.; "Apuntes de la clase de Manejo de la Producción en la Superficie"; Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F.
- 4).- Gómez Cabrera José A.; "Apuntes de Manejo de la Producción en la Superficie"; Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F.

MEDICION DE LOS FLUIDOS PRODUCIDOS

La relación gas-aceite usada comunmente como índice de eficiencia de producción, requiere la medición de volúmenes de gas y aceite producidos por cada pozo.

En la industria petrolera son empleados principalmente los medidores del tipo diferencial, aunque existen gran variedad de medidores basados en principios diferentes como son los de desplazamiento positivo, turbomedidores y los computadores de aceite y contenido de agua.

El gas natural es un producto valioso y, por tanto, se justifica su medición precisa. Se pueden colocar los medidores en las líneas de recolección y transporte para registrar la entrada total de gas húmedo a una planta de recuperación de gasolina natural, o el volumen de gas seco recirculado en los pozos con bombeo neumático o para inyección a yacimientos en recuperación secundaria.

El gas vendido por el productor a una compañía distribuidora, debe medirse con tanta precisión como sea posible, debido a que la cantidad a pagar por el comprador estará basada sobre el volumen transferido. En algunas aplicaciones, ocasionalmente será necesario muestrear y hacer pruebas del gas para determinar

su contenido de gasolina, densidad, valor calorífico o impurezas que contenga.

La medición del aceite crudo presenta mayores dificultades que la de gas natural. Las mediciones con registrador de flujo pueden dar un resultado menos exacto, que el obtenido por métodos que consisten en medir el volumen en tanques. La presencia de agua emulsionada, sólidos en suspensión y las variaciones con siguientes en las propiedades del aceite son condiciones adversas que tienden a hacer difícil la medición. Debido a ésto las normas API prescriben la medición en tanques de almacenamiento o de medición.

#### MEDIDAS EN FLUJO DE LOS FLUIDOS

Para éste caso, se emplean en la práctica de ingeniería nu merosos dispositivos. Las mediciones se llevan a cabo mediante orificios, toberas, tubos de Venturi, tubos de Pitot y otros dispositivos que emplean los efectos de impacto, succión, fuerza centrífuga y resistencia debida a la fricción.

Para la medición del gas, se emplea el medidor con placa de orificio, el cual, no mide volúmenes, si no que registra las pre siones de flujo y a partir de éstas se efectúa el cálculo del gas to del flujo circulante, debido a la relación que existe entre las presiones y las velocidades, entre éstas últimas y el gasto que es lo que se trata de conocer. Estos aparatos deberán ser

calibrados para las condiciones de operación existentes.

## FLUIDOS

Son sustancias que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen. Cuando están en equilibrio, no pueden soportar fuerzas tangenciales o cortantes. Todos los fluidos ofrecen poca resistencia a los cambios de forma.

Estos pueden dividirse en líquidos y gases. Las diferencias esenciales entre líquidos y gases son que los líquidos son prácticamente incompresibles y los gases son compresibles, por lo que en muchas ocasiones hay que tratarlos como tales, y que los líquidos ocupan un volumen definido y tienen superficies libres mientras que una masa dada de gas se expande hasta ocupar todas las partes del recipiente que lo contenga.

## PROBLEMAS RESUELTOS

1.- Se tiene un registrador de flujo conectado a una tubería de 6.065 pg de diámetro interior (conexión respectiva en brida) con un diámetro de la placa de orificio de 2.5 pg, una densidad relativa al gas de 0.657 (aire = 1), una presión base de 14.225 lb/pg<sup>2</sup> abs y un rango de aparato de  $R_f = (200 \times 1200)$ .

a).- Si la lectura diferencial es de 4.0. ¿Cuál - - -

es la presión diferencial en pg de agua?

- b).- Si la presión manométrica es de 423.31 lb/pg<sup>2</sup> ¿Cuál es la lectura estática?

Solución:

(a) De la ecuación:

$$hw = \frac{L_d^2 \times Rh}{100} = \frac{(4.0)^2 \times 200}{100} = 32 \text{ pg.}$$

(b) De la ecuación:

$$Le = \left[ \frac{(P_m + P_a)}{R_p} \frac{100}{1200} \right]^{\frac{1}{2}} = \left[ \frac{(423.31 + 14.225)}{1200} \frac{100}{1200} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Le = 6.038$$

- 2.- Se tiene instalado un registrador de flujo con fuelles (conexión respectiva en brida), con un diámetro nominal de 6 pg (cédula 160), donde la placa de orificio es de acero monel. Dada la siguiente información:

Presión diferencial	= 75 pg de agua.
Densidad relativa del gas	= .68 (aire = 1)
Temperatura de flujo	= 68 °F
Presión manométrica	= 235 lb/pg <sup>2</sup> .
Presión base	= 14.65 lb/pg <sup>2</sup> abs.
Temperatura base	= 65 °F
Diámetro del orificio	= 2.125 pg.
Rango del registrador	= (300 x 1000)

Determinar:

- a).- Diámetro interior de la tubería.
- b).- Factor del aparato en  $\text{pie}^3/\text{día}$
- c).- Gasto de gas en  $\text{pie}^3/\text{día}$  a condiciones base.

Solución:

(a) De la tabla X, con el diámetro nominal y la cédula 160, se tiene que el diámetro interior es de 5.189 pg.

$$(b) M = .01(300 \times 1000)^{\frac{1}{2}} = 5.4772$$

FACTOR	TABLA
$F_{pb} = 1.0055$	XI
$F_{tb} = 1.0096$	XII
$F_g = 1.2127$	XIII
$F_{tf} = 0.9924$	XIV
$F_{pv} = 1.0270$	XV- XVI
$F_r = 1.0002$	XVII
$Y_2 = 1.0019$	XVIII
$F_m = 1.0000$	(Registrador con fuelles)
$F_a = 1.0006$	VII
$F_b = 930.35$	XX
$C = 6440.71 \text{ pie}^3/\text{hr} = 154577.14 \text{ pie}^3/\text{día}$	

(c) Para un  $R_h = 300$  pg de agua y  $h_w = 75$  pg de agua se tiene una  $L_d = 5$  (Tabla I).

Para un  $R_p = 1000 \text{ lb/pg}^2$  abs y  $P_m = 235 \text{ lb/pg}^2$  se tiene una  $Le = 4.99$  (ecuación de la Tabla III).

De la ecuación 5.29 se tiene:

$$q_g = 154577.14 \times 5 \times 4.99 = 3856699.6 \text{ pie}^3/\text{día a c.b.}$$

3. Se tiene un registrador de flujo conectado a una tubería con diámetro interior de 7.439 pg (conexión en brida), el diámetro de la placa de orificio es de 3.00 pg y el rango del aparato es de 400 pg de agua y  $1500 \text{ lb/pg}^2$  abs.

a).- ¿Cuál es la lectura diferencial de la placa si la presión diferencial es de 85 pg de agua?

b).- ¿Cuál es la presión de operación manométrica si en la gráfica la lectura estática es de 6.6?

Solución:

(a) De la ecuación:

$$L_d = \left[ \frac{100 \times h_w}{R_h} \right]^{\frac{1}{2}} = \left[ \frac{100 \times 85}{400} \right]^{\frac{1}{2}} = 4.61$$

(b) De la ecuación:

$$P_m = \frac{L_e^2 \times R_p}{100} - P_a = \frac{6.6^2 \times 1500}{100} - 14.7$$

$$P_m = 638.7 \text{ lb/pg}^2.$$

4. Calcular el gasto de agua que se inyecta a un pozo en bl/día (a condiciones base). Dada la siguiente información:

Rango del registrador Rh	= 100 pg de agua.
Diámetro del porta-orificio.	= 4 pg (3.438 pg).
Diámetro del orificio de la placa	= 2 ½ pg.
Temperatura base	= 28°F

Se considera que la placa de orificio es de acero monel, el registrador de flujo es con fuelles y la conexión es en brida.

Solución:

$$M = 0.1 Rh^{\frac{1}{2}} = 0.1 (100)^{\frac{1}{2}} = 1.000$$

$$N = 194.3 \text{ Tabla IV}$$

$$S = 0.3867 \text{ Tabla VI}$$

$$di^2 = 11.820 \text{ Tabla X}$$

$$Fa = 1.0000 \text{ Tabla VII}$$

$$Fm = 1.0000 \text{ (registrador con fuelles)}$$

$$Fs = 1.0000 \text{ (no se usa sello)}$$

$$Ld = 7.2000 \text{ (de la gráfica)}$$

Substituyendo valores en la ecuación 5.12:

$$q_w = 194.3 \times 0.3867 \times 11.82 \times 7.2 = 6394.3 \text{ bl/día a c.b.}$$

5. Se tiene instalado un medidor de orificio en el cual su placa es de acero monel, la conexión es en brida y el registrador es con fuelles. Dada la siguiente información:

Diámetro del orificio de la placa = 3.0 pg.  
 Diámetro del porta-orificio = 6 pg (5.761 pg),  
 Presión estática = 100 lb/pg<sup>2</sup> abs.  
 Temperatura del flujo = 75 °F  
 Presión base = 14.7 lb/pg<sup>2</sup> abs.  
 Temperatura base = 60 °F  
 Densidad relativa del gas = 0.65 (aire = 1),  
 Presión diferencial = 50 pg de agua,  
 Obtener el gasto de gas en pie<sup>3</sup>/día y m<sup>3</sup>/día a condiciones base.

Solución:

FACTOR	TABLA
M = 1.0000	
F <sub>pb</sub> = 1.0020	XI
F <sub>tb</sub> = 1.0000	XII
F <sub>g</sub> = 1.2403	XIII
F <sub>tf</sub> = 0.9859	XIV
F <sub>pv</sub> = 1.0080	XV-XVI
F <sub>r</sub> = 1.0041	XVII
Y <sub>2</sub> = 1.0030	XVIII
F <sub>m</sub> = 1.0000	(registrador con fuelles)
F <sub>a</sub> = 1.0007	VII
F <sub>b</sub> = 1907.8	XX

De la ecuación 5.28:

$$C' = 2374.73 \text{ pie}^3/\text{hr} = 56993.7 \text{ pie}^3/\text{día}$$

De la ecuación 5.27:

$$q_g = 4030062.4 \text{ pie}^3/\text{día a c.b.}$$

$$q_g = 114121 \text{ m}^3/\text{día a c.b.}$$

## PROBLEMAS PROPUESTOS

### SERIE 1.V

- 1.1.- Definir un sistema de medición.
- 1.2.- ¿Cuál es el objetivo de realizar mediciones de líquido y gas?.
- 1.3.- ¿Qué medidor es recomendable usar para grandes cantidades de gas?.
- 1.4.- Describir brevemente el dispositivo primario tubo de Venturi.
- 1.5.- ¿Cuál es el elemento primario y secundario, del medidor con placa de orificio?.
- 1.6.- Realizar un programa de cómputo para obtener el factor de compresibilidad (Z) con ayuda de la correlación que se encuentra en las páginas V.58 y V.59.
- 1.7.- Se tiene un registrador de flujo en el cual las tomas de presión están instaladas en brida, donde el material de

la placa de orificio es de acero monel. Dada la siguiente información:

Densidad relativa del gas	= 0.656 (aire = 1).
Presión estática	= 1000 lb/pg <sup>2</sup> abs.
Presión diferencial	= 52 pg de agua.
Diámetro de la tubería	= 4 pg (4.026).
Diámetro del orificio de la placa	= 1.25 pg.
Temperatura de flujo	= 70 °F.
Presión base	= 14.755 lb/pg <sup>2</sup> ,
Temperatura base	= 60 °F.

Determinar:

(a) Factor de la placa de orificio con la tabla.

Sol.  $F_b = 317.45$ .

(b) Factor de la placa de orificio con la ecuación 5.53

Sol.  $F_b = 318.09$ .

(c) Coeficiente para determinar el gasto de gas, considere incisos (a) y (b).

Sol.  $\bar{C}' = 389.728 \text{ pie}^3/\text{hr.}$

(d) Gasto de gas a condiciones base en  $\text{pie}^3/\text{día}$  y  $\text{m}^3/\text{día}$ .

Sol.  $q_g = 2132921 \text{ pie}^3/\text{día}$  a c.b.

$q_g = 60399 \text{ m}^3/\text{día}$  a c.b.

SERIE 2.V

- 2.1.- ¿Cuáles son los factores que intervienen en el diseño de la constante de la placa de orificio?.
- 2.2.- ¿Cómo se determina el rango de la presión diferencial en el medidor con fuelles?.
- 2.3.- ¿Cuáles son los parámetros que se deben considerar para efectuar una buena medición?.
- 2.4.- ¿Dónde es recomendable instalar medidores con placa de orificio?.
- 2.5.- ¿Cuáles son los tipos de porta-orificio usados en la industria petrolera?.
- 2.6.- Calcular el gasto de aceite saturado en  $\text{cm}^3/\text{seg}$  (a condiciones de flujo), aplicando el teorema de Bernoulli (ecuación 5.7). Dada la siguiente información:

Diámetro del orificio de la placa	= 0.5 pg.
Diámetro interior de la tubería	= 3 pg.
Altura de la columna de agua	= 5 cm.
Densidad del aceite	= 40 ° API.
Densidad relativa del gas	= 0.8 (aire = 1).
Velocidad del fluido	= 3.280 pie/seg.
Presión de flujo	= 134.7 lb/pg <sup>2</sup> abs.
Temperatura de escurrimiento	= 95 °F
Factor de volumen del aceite	= 1.8

Sol.  $q_0 = 373.309 \text{ cm}^3/\text{seg}$  a c.f. (ver referencia 4).

- 2.7.- Determinar el diámetro del orificio de la placa (pg) para manejar un gasto de agua de inyección de 3500 bl/día si se sabe que el diámetro nominal de la brida porta-orificio es de 8 pg (cédula 30), el rango del aparato (sin mercurio) es de 100 pg de agua, la densidad relativa del aceite es de 0.75 a 20°C/4°C, la temperatura de escurrimiento es de 30°C, la lectura diferencial es de 5.5 (de la gráfica), el material de la placa de orificio es de acero inoxidable tipo 316.

Sol.  $d = 2.33 \text{ pg}$ .

#### SERIE 3.V

- 3.1.- ¿Qué se entiende por presión diferencial?.
- 3.2.- ¿Por qué se instala la parte biselada del orificio de la placa hacia el lado de baja presión?.
- 3.3.- ¿En función del tipo de fluido, dónde se sitúan las tomas de presión?.
- 3.4.- ¿Cuándo se requiere calibrar un registrador con fuelles?.
- 3.5.- ¿Cuál es el principio básico del medidor de desplazamiento positivo?.
- 3.6.- Calcular el gasto de líquido en  $\text{m}^3/\text{día}$  y  $\text{bl}/\text{día}$  a condi-

ciones de flujo, dada la siguiente información:

Diámetro de la placa de orificio	= 5-1/4 pg (acero tipo 316).
Rango del aparato	= 200 pg de agua.
Densidad relativa del aceite	= 0.85 a 20°C /4°C.
Temperatura de escurrimiento	= 40°C.
Viscosidad del aceite a temperatura de flujo	= 150 SSU.
Lectura diferencial (de la gráfica)	= 7.2.

(a) Considerar líquido viscoso, registrador con mercurio y conexión en tubería (12 pg cédula 40).

$$\text{Sol. } q_0 = 4709 \text{ m}^3/\text{día} = 29667 \text{ bl/día a c.f.}$$

(b) Considerar líquido no viscoso, registrador sin mercurio y conexión en brida (16 pg cédula 40).

$$\text{Sol. } q_0 = 5285.74 \text{ m}^3/\text{día} = 33246 \text{ bl/día a c.f.}$$

3.7.- Calcular el gasto de aceite a condiciones de flujo que pasa a través de una placa de orificio de 5.50 pg de diámetro en bl/día. Dada la siguiente información:

Diámetro del porta orificio	= 14 pg (13.250 pg).
Placa de acero inoxidable tipo 304	
Rango del registrador con mercurio	= 200 pg de agua.
Densidad relativa del aceite	= 0.9 (dato del Lab.)
Temperatura de flujo	= 30°C
Viscosidad del aceite a 30°C	= 95 SSU.

Lectura diferencial = 3.5 (valor supuesto)

Lectura diferencial = 4.8 (valor real)

Sol.  $q_0 = 20981$  bl/día a c.f.

#### SERIE 4.V

- 4.1.- ¿Cuáles son los factores más representativos en el cálculo de la constante de la placa de orificio?.
- 4.2.- ¿Para qué se utilizan dos turbinas medidoras de flujo en el paquete de medición del aceite en una batería?.
- 4.3.- ¿A qué se debe principalmente el uso de la placa de orificio?.
- 4.4.- ¿Qué ventaja tiene el turbo-medidor en cuanto a la temperatura y a la viscosidad del fluido?.
- 4.5.- ¿Cuáles son los dispositivos básicos y complementarios de un computador de aceite y contenido de agua?.
- 4.6.- Calcular el gasto de gas en  $\text{pie}^3/\text{día}$  a condiciones base. Dada la siguiente información:

Diámetro del porta-orificio = 16 pg (15.250).

Densidad relativa del gas = 0.70 (aire = 1).

Temperatura de escurrimiento = 90 °F.

Presión de separación = 600 lb/pg<sup>2</sup> man.

Rango del registrador = 300 pg de agua x 1000 lb/pg<sup>2</sup> abs.

Presión base = 1.033 kg/cm<sup>2</sup> abs.  
 Temperatura base = 60°F.  
 Diámetro del orificio de la placa = 6-½ pg.  
 Lectura diferencial = 5 (de la gráfica).  
 La conexión es en brida.  
 Utilizar únicamente las Tablas I, III, XVII y XVIII.

Sol.  $q_g = 50\ 591\ 156\ \text{pie}^3/\text{día}$  a c.b.

4.7.- Se tiene un medidor de orificio con un rango de 200 pg de agua y 1000 lb/pg<sup>2</sup> abs, donde las tomas de presión están conectadas en brida, el diámetro interior de la tubería es de 7.981 pg. El orificio de la placa es de 3 pg, con una constante de orificio de 7620 m<sup>3</sup>/día, la presión de operación es de 45 kg/pg<sup>2</sup> man, la temperatura de flujo es de 60°F y la densidad relativa del gas es de 0.73 (aire = 1). Como el registrador quedo fuera de rango al aumentar el gasto se cambio la placa por una con orificio de 3 3/8 de pg.

¿Cuál es el gasto de gas para esta nueva placa de orificio en pie<sup>3</sup>/ día a condiciones estándar?, si las lecturas son:

Lectura estática = 8.1

Lectura diferencial = 8.5

Sol.  $q_g = 16\ 078\ 513\ \text{pie}^3/\text{día}$  a c.e.

SERIE 5.V

- 5.1.- ¿Cuáles son los dispositivos que forman una estación de calibración para un medidor de desplazamiento positivo?.
- 5.2.- Definir el coeficiente de descarga.
- 5.3.- Explicar brevemente el funcionamiento de los diferentes tipos de porta-orificio.
- 5.4.- Explicar brevemente una carta registradora de presión.
- 5.5.- ¿Cuál es el objetivo, del dispositivo complementario caja a prueba de explosión, de un computador de aceite y contenido de agua?.
- 5.6.- En una tubería de 12 pg (12.09 pg), a una temperatura de 30°C, se tiene una placa de orificio de acero monel (el diámetro del orificio es de 1 pg), un registrador de flujo con mercurio de 200 pg de agua y 1000 lb/pg<sup>2</sup> abs en el cual las tomas de presión están instaladas en conexión en brida. Donde la presión y temperatura base son 1.033 kg/cm<sup>2</sup> y 21 °C respectivamente. Se tiene una presión diferencial de 75 pg de agua, masa molecular del gas de 18.830 lb/mol-lb, densidad relativa del aceite de 0.80 (agua = 1), densidad de líquido sellante de 0.364, viscosidad del aceite a 30 °C de 150 SSU y una lectura estática de 6.8.

Determinar:

(a) La lectura diferencial.

$$\text{Sol. } L_d = 6.124$$

(b) La presión manométrica.

$$\text{Sol. } P_m = 447.7 \text{ lb/pg}^2.$$

(c) La constante para el cálculo del gasto de gas.

$$\text{Sol. } C' = 1365 \text{ pie}^3/\text{hr.}$$

(d) Gasto de gas en  $\text{pie}^3/\text{día}$  a condiciones estándar.

$$\text{Sol. } q_g = 1\,364\,231 \text{ pie}^3/\text{día a c.s.}$$

(e) Gasto de aceite en  $\text{bl}/\text{día}$  a condiciones de flujo.

$$\text{Sol. } q_o = 1109 \text{ bl}/\text{día a c.f.}$$

5.7.- Aplicando el teorema de Bernoulli calcular el gasto de aceite que sale de un separador en  $\text{cm}^3/\text{seg}$  y  $\text{m}^3/\text{día}$  a condiciones de flujo. Se sabe que la lectura diferencial es de 4.4, el rango del aparato es de 50 pg de agua, diámetro interior de la tubería de 15.25 pg y el diámetro del orificio de la placa es de 9 pg. Del laboratorio se obtuvo que el  $NRe = 2000$  y la densidad del aceite es de 320.72 lb/bl.

$$\text{Sol. } q_o = 398\,075.46 \text{ cm}^3/\text{seg a c.f.}$$

$$q_o = 34\,394 \text{ m}^3/\text{día a c.f.}$$

## G L O S A R I O

- Densidad:** Se define como la masa de una substancia por unidad de volumen.
- Densidad relativa:** La densidad relativa de un cuerpo es un número adimensional que viene dado por la relación del peso del cuerpo al peso de un volumen igual de una substancia que se toma como referencia. Los sólidos y líquidos se refieren al agua, mientras que los gases se refieren al aire libre.
- Volumen:** Espacio ocupado por un cuerpo y magnitud que expresa dicho espacio en relación con una unidad escogida.
- Viscosidad:** La viscosidad de un fluido es aquella propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes. La viscosidad se debe primordialmente a las interacciones entre las moléculas del fluido. Esta casi no varía con la presión pero sí con la temperatura. En los líquidos al aumentar la temperatura disminuye la viscosidad y en los gases aumenta la viscosidad.

**Calor Específico:**

Cantidad de calor que absorbe un kilogramo de un cuerpo para que aumente su temperatura un grado.

**Velocidad:**

Magnitud física que expresa el espacio recorrido por un móvil en la unidad de tiempo.

**Fuerza:**

Se define como toda causa que tiende a modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo. Una fuerza se caracteriza por intensidad, punto de aplicación, dirección y sentido.

**Temperatura:**

Indice del estado térmico o del grado mayor o menor de calor de un cuerpo. La temperatura de un cuerpo está directamente relacionada con el grado de agitación molecular. La magnitud de la temperatura se expresa en grados (°F, °R, °K, °C).

**Viscosidad cinemática:**

Se define como la relación de la viscosidad absoluta en poises entre la densidad en  $\text{gr/cm}^3$ .

$$K = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Stokes})$$

**Bomba:**

Dispositivo que sirve para elevar o transportar líquido, compuesto de un cilindro, dentro del cual, juega un émbolo.

**Biselada:** Acción de cortar en bisel es decir cortar oblicuamente.

**Gas ideal:** O perfecto, se define como un gas cuyo volumen se reduce a la mitad cuando la presión se duplica. El volumen ocupado por las moléculas es insignificante en comparación con el volumen total, y esto es válido para todas las presiones y temperaturas. Debe satisfacer la siguiente ecuación de estado:

$$PV = RT$$

## R E F E R E N C I A

- 1) Lázaro Andrés Mendoza May; "Separación y Medición de Aceite y gas en una Plataforma de Producción del Campo Cantarell"; Facultad de Ingeniería, UNAM; Tesis profesional. 1984.
- 2) Lester Charles Uren; "Ingeniería de Producción del Petróleo"; Editorial CECSA. México, D.F.
- 3) Gómez Cabrera José A.; "Apuntes de Manejo de la Producción en la Superficie"; Facultad de Ingeniería, UNAM; México, D.F.
- 4) Garaicochea Petreirena Francisco; "Apuntes de Transporte de Hidrocarburos"; Facultad de Ingeniería, UNAM; México, D.F.
- 5) Ronald V. Giles; "Mecánica de los Fluidos e Hidráulica"; Serie Schaum.
- 6) De la Garza Carrasco Nahum; "Apuntes de Fisicoquímica y Termodinámica"; Facultad de Ingeniería, UNAM; México, D.F.
- 7) Gómez Cabrera José A.; "Apuntes de la Clase de Manejo de la Producción"; Facultad de Ingeniería, UNAM

MUESTREO Y ANALISIS DE LOS FLUIDOS MANEJADOS

MUESTREO DE ACEITE CRUDO

La calidad del aceite es un factor importante a determinar y para este propósito se toman muestras. Se debe de tener cuidado, para estar seguro de que las muestras obtenidas son verdaderamente representativas de todo el volumen de aceite. Se pueden introducir errores considerables como resultado de descuido o muestreo impropio.

Hacia el fondo del tanque hay un asentamiento gradual de agua, emulsión y material sólido, de manera que muestras tomadas a varias profundidades mostrarán un aumento de impurezas hacia el fondo, mientras que las muestras tomadas cerca de la parte superior estarán comparativamente libres de impurezas. El aceite almacenado durante un tiempo considerable en tanques grandes o depósitos presentará una marcada estratificación, de manera que las muestras deben tomarse a varias profundidades y promediar los resultados. Hasta la densidad del aceite puede variar algo a diferentes niveles en el tanque, cuando el aceite ha estado inmóvil durante largo tiempo.

## LADRON DE MUESTREO DE ACEITE EN EL FONDO

El ladrón de muestreo es también conocido como muestreador de cierre en el fondo, consiste de un recipiente de 0.30 a 0.45 m de largo, de sección cuadrada o circular, soportada en posición vertical por una asa en el extremo superior y fija a una cadena de soporte, alambre o cable delgado, de donde es tomado por el operador. El extremo superior del recipiente siempre está abierto al fluido del tanque, pero el extremo inferior está equipado con una válvula o mecanismo de trampa, accionado por un resorte que al dispararlo el operador, cierra el extremo inferior del recipiente. Abierto el extremo inferior de éste se baja el dispositivo al nivel deseado por debajo de la superficie del aceite donde se va a tomar la muestra, pasando el fluido del tanque libremente a través del recipiente mientras baja. Luego se dispara el gatillo, la trampa o válvula cierra y el muestreador ladrón con su muestra de aceite aprisionada puede sacarse por la escotilla de aforo del tanque.

## METODO DE MUESTREO (Sistema de tres puntos)

Es un método común de muestreo de aceite en tanques de almacenamiento. En éste, se toman las muestras abajo de la escotilla de aforo, una cerca de la parte superior, una cerca del fondo y una en el punto medio. Las tres muestras así obtenidas, se mezclan para formar una muestra compuesta representativa de to-

do el aceite contenido en el tanque. El Código 25 del Instituto Americano del Petróleo (API), prescribe que cuando se usa un tipo de muestreador de cierre en el fondo, la muestra superior debe tomarse 10 cm abajo de la superficie del aceite, mientras que la muestra de fondo se toma 10 cm abajo de la conexión para descargar el tanque. Si se usa un muestreador tipo botella, la boca de la botella deberá estar 30 cm abajo de la superficie del aceite al tomar la muestra superior y al nivel con la conexión para descargar el tanque al tomar la muestra de fondo. Las muestras intermedias se toman a la distancia media de la superior y de fondo en ambos casos.

## HIDROMETROS

Los hidrómetros preferidos para usarse en campos petroleros son de dos tamaños, uno de 20.3 cm de largo, que requiere una muestra de aceite de sólo unas decenas de ml. para la prueba y el otro de 30.5 a 38.1 cm de largo que necesita como mínimo una muestra de 453 ml de aceite. El hidrómetro de mayor tamaño permite lecturas más precisas y es, generalmente preferido para usarse en el campo. Las normas API establecen que las escalas usadas en los hidrómetros, para propósitos de medición, se deberán construir de modo que tengan intervalos de 0.1° API con un espacio en la escala no menor de 1 mm. Para lograr esto, cada hidrómetro está generalmente diseñado para lecturas en un rango de 12 °API, por ejemplo, 9-21, 19-31, 29-41, etc.

La mayoría de los laboratoristas prefieren determinar la temperatura del aceite, inmediatamente después de hacer la prueba de densidad. Para este objeto se usa un termómetro de inversión total de unos 40.6 cm de largo.

#### PROBLEMAS RESUELTOS

1. Un hidrocarburo puro tiene una densidad de 0.039248 lb/pie<sup>3</sup> medida a 37.8 °C y a una atmósfera de presión de un análisis químico se determina que existen cuatro átomos de hidrógeno por cada átomo de carbono en la molécula.

¿Cuál es la masa molecular del gas y su fórmula química?.

Solución:

Se sabe que:

$$PV = RT \quad \dots (1)$$

$$V = m/\rho \quad \dots (2)$$

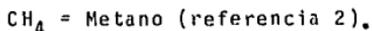
Substituyendo la ec. 2 en 1 y despejando la masa se tiene:

$$m = \frac{RT\rho}{P} \quad \dots (3)$$

Substituyendo la información correspondiente en la ec. 3 se tiene:

$$m = \frac{0.73 \times 560 \times 0.039248}{1} = 16.044 \text{ lb/mole-lb.}$$

Por lo tanto su fórmula química es:



2. En el laboratorio se analizó una muestra de gas húmedo obteniéndose la siguiente fracción molar:

(1) Componentes	(2) Fracción mol.
Metano	0.36518
Etano	0.23388
Propano	0.19930
Butano normal	<u>0.20164</u>
	1.00000

Obtener:

- a).- La masa molecular media del gas.  
b).- La densidad relativa del gas.

Solución:

(a)

	(3) Peso molecular	Columnas (2) x (3)
Metano	16.043	5.859
Etano	30.070	7.033
Propano	44.097	8.789
Butano normal	58.124	<u>11.720</u>
		33.400

Por tanto  $\bar{M} = 33.400 \text{ lb/mole-lb}$

- (b) Se sabe que la masa molecular media del aire es de 28.97 lb/mole-lb entonces:

$$\sigma_g = \frac{33.400}{28.970} = 1.153$$

3. Se sabe que el diámetro interior de la boquilla de muestreo es de 2.032 cm. ¿Cuáles son las velocidades para los gastos de flujo de gas de 15, 11.5 y 8 pie<sup>3</sup>/min?

Solución:

De la fig. VI.4 entrando con el diámetro interior de 0.8 pg y los gastos de flujo de gas se tiene:

Velocidad para 15 pie<sup>3</sup>/min  $\approx$  49 millas/hr.

Velocidad para 11.5 pie<sup>3</sup>/min  $\approx$  37.5 millas/hr.

Velocidad para 8 pie<sup>3</sup>/min  $\approx$  25.5 millas/hr.

4. En el laboratorio de producción se tiene una muestra de aceite crudo. Obtener el contenido de agua y sedimento en %, con el método de la centrifuga, dada la siguiente información:

½ litro de solvente (Tolueno).

2 litros de aceite crudo.

2 perillas cónicas con capacidad de 100 %.

1 centrifuga.

Solución:

Llenar con el solvente las dos perillas hasta la marca de 50%, añadir el aceite crudo hasta completar el 100%

en las perillas. Se agitan las perillas hasta tenerlo bien mezclado, posteriormente se colocan en la centrifuga a una velocidad de 1500 rpm y a un tiempo de centrifugación de 8 minutos. Se leen las lecturas siguientes:

$$\text{Primera perilla } L_{1\text{Sed}} = 0.7, L_{2\text{ Agua}} = 8.8$$

$$\text{Segunda perilla } L_{1\text{Sed}} = 0.7, L_{2\text{ Agua}} = 8.8$$

Se centrifuga nuevamente durante 8 minutos obteniéndose las siguientes lecturas:

$$\text{Primera perilla } L_{2\text{ Sed}} = 0.69, L_{2\text{ Agua}} = 8.6$$

$$\text{Segunda perilla } L_{2\text{ Sed}} = 0.68, L_{2\text{ Agua}} = 8.7$$

El promedio que se obtiene de las dos perillas en cada centrifugación, se suma, dando el porcentaje.

$$L_{\text{Sedimentos}} = 0.7 + 0.685 = 1.385\%$$

$$L_{\text{Agua}} = 8.8 + 8.65 = 17.45\%$$

5. Se tiene en el laboratorio un volumen de gas de  $365.5 \text{ cm}^3$  a una temperatura de  $218^\circ\text{F}$  y una presión de  $3250 \text{ lb/pg}^2$  abs. y un volumen de gas de  $70\,250 \text{ cm}^3$  a una temperatura de  $68^\circ\text{F}$  y una presión de  $14.7 \text{ lb/pg}^2$  abs.

Usando la ecuación de estado de los gases reales obtener el factor de desviación a temperatura y presión de flujo ( $Z_2$ ).

Solución:

De la ecuación de estado:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1 Z_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2 Z_2} \quad \text{Donde } Z_1 = 1$$

Despejando  $Z_2$  y substituyendo la información correspondiente en la ecuación anterior se tiene:

$$Z_2 = \frac{3250 \times 365.5 \times (68 + 460)}{14.7 \times 70250 \times (218 + 460)} = 0.896$$

#### PROBLEMAS PROPUESTOS

##### SERIE 1.VI

- 1.1.- ¿Cuál es la importancia de realizar el muestreo y análisis de los hidrocarburos?.
- 1.2.- ¿De qué factores depende la velocidad de asentamiento de las impurezas en el aceite?.
- 1.3.- ¿En qué consiste el muestreador de núcleo en el muestreo y análisis de los hidrocarburos?.
- 1.4.- ¿Dónde es correcto muestrear, en la tubería de descarga o en el tanque de aforo?.
- 1.5.- ¿Cuál es el equipo más utilizado para el muestreo de hidrocarburos?.
- 1.6.- Si se tiene que la velocidad del gas es de 50 millas/hr

y el diámetro interior de la boquilla de muestreo es de 1.524 cm. ¿Cuál es el gasto de gas necesario para que el muestreo sea isocinético?

$$\text{Sol. } q_g = 8.5 \text{ pie}^3/\text{min.}$$

- 1.7.- Obtener el factor de desviación del gas a la presión de saturación (Ps) de 100 lb/pg<sup>2</sup> man. Dada la siguiente información:

$$\text{Presión de medición (P)} = 5.634 \text{ kg/cm}^2 \text{ man.}$$

$$\text{Temperatura de medición (T)} = 15.56 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatura del yacimiento (Ty)} = 366.33 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\text{Volumen total de gas (Vt)} = 7062.8 \text{ pie}^3$$

$$\text{Volumen real a Ps (Vr)} = 816.92 \text{ bl.}$$

$$\text{Volumen ideal a Ps y Ty} = \frac{P \times Vt \times Ty}{T \times Ps} \quad (\text{referencia 1})$$

$$Z \text{ a Ps} = \frac{\text{Volumen real a Ps (medido)}}{\text{Volumen ideal (calculado)}} \quad (\text{referencia 1})$$

Donde: P en lb/pg<sup>2</sup> abs.

T y Ty en °R,

Vt y Vr en m.<sup>3</sup>

Ps en lb/pg<sup>2</sup> abs.

$$\text{Sol. } Z \text{ a Ps} = 0.6203.$$

#### SERIE 2.VI

2.1.- ¿Cuáles son las dimensiones de la botella muestreadora?.

2.2.- ¿Qué se entiende por portamuestra en el muestreo y añ-

lisis de los hidrocarburos?.

2.3.- ¿En qué consisten las técnicas de muestreo de aceite en tanques de almacenamiento?.

2.4.- ¿Cuáles son los pasos para realizar en el laboratorio una pesada en una balanza analítica?.

2.5.- ¿Cuáles son los pasos que se deben realizar en el laboratorio, para la obtención del peso específico del aceite?.

2.6.- En una batería se lleva a cabo la medición de la producción, la cual es de  $8835 \text{ m}^3/\text{día}$  a condiciones superficiales y  $479 \times 10^6 \text{ pie}^3/\text{día}$  a condiciones superficiales, se muestreo y en el laboratorio se obtuvo que el aceite tiene 30% de agua y 8% de sedimentos, la densidad del gas es de 0.65 (aire = 1) y la densidad del aceite es de 0.825 (agua = 1).

(a) Determinar la densidad del aceite en °API.

Sol. Densidad = 40 °API

(b) Si en la primera etapa la temperatura es de  $90^\circ\text{F}$  y la presión es de  $120 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs}$ , determinar el gas-to de aceite en ésta etapa (referencia 6).

Sol.  $q_{01} = 8930 \text{ m}^3/\text{día}$  a condición del separador.

2.7.- Obtener el factor de desviación del gas a condiciones

de medición (Z a P) con ayuda de la siguiente ecuación:

$$Z \text{ a } P = \frac{P}{P_S} \times VR \times Z \text{ a } P_S \text{ (referencia 1),}$$

Donde:

$$VR \text{ (volumen relativo)} = \frac{V_t}{V_r}$$

Nota: La información necesaria tomarla del problema 1.7 de la serie 1.VI.

Sol. Z a P = 0.79

### SERIE 3.VI

- 3.1.- ¿Cuál es el equipo que se utiliza para el análisis cromatográfico de muestras de gas?.
- 3.2.- ¿Dónde se instalan las válvulas muestreadoras?.
- 3.3.- ¿Cuál es la división de los muestreadores automáticos más usados en la industria petrolera?.
- 3.4.- ¿Cómo se realiza el muestreo en pozos que producen gas y condensado?.
- 3.5.- ¿Cuáles son los parámetros que se determinan del aceite, en el análisis de laboratorio?.
- 3.6.- Un hidrocarburo gaseoso tiene una densidad de 0.102 lb/pie<sup>3</sup> a 100°F y 14.7 lb/pg<sup>2</sup>, de un análisis químico se mostró que existen dos átomos de hidrógeno por cada

átomo de carbono en cada molécula. ¿Cuál es la masa molecular del componente?

Sol.  $M_g = 41.694 \text{ lb/mol-lb}$ .

3.7.- Se tiene una muestra de aceite que se calienta durante 24 hrs a una temperatura de  $122^\circ\text{F}$  (cte). Se toman las lecturas obteniéndose 3% de sedimentos y 89% de aceite. ¿Cuál es el % de agua existente?

Sol. % de agua = 8%.

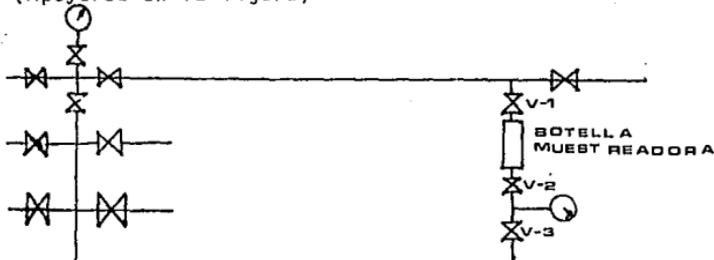
#### SERIE 4.VI

4.1.- ¿Cómo se determina la densidad relativa del aceite en el laboratorio?

4.2.- ¿De qué factor depende la presión de vapor?

4.3.- ¿Cuáles son los pasos a seguir en la toma de una muestra a cabeza de pozo?

(Apoyarse en la figura)



4.4.- ¿Cómo se llama al dispositivo, que se usa en el laboratorio para la medición de la presión de vapor?

4.5.- ¿Cuáles son los métodos utilizados para el análisis del contenido de agua y sedimentos presentes en el aceite crudo?

4.6.- Se efectuó el análisis del contenido de agua y sedimentos a una muestra de aceite por el método de la centrifuga obteniéndose la siguiente información:

Perilla 1	Perilla 2
1ra. centrifugación	1ra. centrifugación
$L_1 \text{ sed} = 0.4\%$	$L_1 \text{ sed} = 0.5\%$
$L_1 \text{ agua} = 9.8\%$	$L_1 \text{ agua} = 9.9\%$
2da. centrifugación	2da. centrifugación
$L_2 \text{ sed} = 0.5\%$	$L_2 \text{ sed} = 0.5\%$
$L_2 \text{ agua} = 9.8\%$	$L_2 \text{ agua} = 9.7\%$

¿Cuál es el % de agua y sedimentos?

Sol. % agua = 19.6%, % sedimentos = 1.4%

4.7.- Se tiene una muestra de metano a una presión de 1500 lb/pg<sup>2</sup> abs. y una temperatura de 284°F. Si su densidad es de 6.23 lb/pie<sup>3</sup>, determinar su factor de compresibilidad Z.

Sol.  $Z = 0.484$

#### SERIE 5.VI

5.1.- ¿En qué consiste el método de la centrifuga?

- 5.2.- ¿En qué consiste el método de depositación por gravedad?
- 5.3.- Explicar el método por destilación.
- 5.4.- ¿Qué factores se determinan del gas, en un análisis de laboratorio?
- 5.5.- ¿Qué método es más recomendable usar para el análisis de contenido de agua y sedimentos?
- 5.6.- Si se tiene una mezcla de hidrocarburos a una presión de 800 lb/pg<sup>2</sup> man. y una temperatura de 180°F; dada la siguiente composición:

Componentes	Fracción mol
C <sub>1</sub>	0.7034
C <sub>2</sub>	0.1135
C <sub>3</sub>	0.0712
iC <sub>4</sub>	0.0435
nC <sub>5</sub>	0.0385
iC <sub>5</sub>	<u>0.0299</u>
	1.0000

Obtener:

a) El factor de compresibilidad.

Sol.  $Z = 0.86$  (referencia 2).

b) La densidad relativa de la mezcla.

Sol.  $\gamma_m = 0.873,$

5.7.- Obtener la masa molecular de un gas, dada la siguiente información:

$Z = 0.7254$      $P = 500 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$

$T = 248^\circ\text{F}$     Densidad relativa del gas libre = 0.55 (aire =1).

Sol.  $M_g = 15.963 \text{ lb/mole-lb}$  (referencia 6).

## G L O S A R I O

- Peso específico:** Es el peso de la unidad de volumen de una sustancia ( $P_e = \rho \times g$ )
- Peso:** Es la fuerza con que un cuerpo es atraído hacia el centro de la tierra.
- La primera ley del movimiento enunciada por Newton indica que la fuerza de gravedad es directamente proporcional a la masa,  $W = m \times g$  en esta ecuación la constante (g) tiene un valor fijo en un lugar determinado.
- Volumen específico:** Es el volumen de la unidad de masa de una sustancia  $V = 1/\rho$ .
- Masa:** Es la cantidad de materia contenida en una sustancia.
- Mole de un compuesto:** Es el número de unidades de masa igual a su masa molecular.
- Masa molecular:** Una molécula es la pieza fundamental de constitución de sustancias como agua, etano, etc. La masa molecular es una suma de las masas atómicas de los elementos que forman la molé

cula, por ejemplo, una vez que se ha establecido que la molécula de metano se compone de un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno, se deduce que la masa molecular del metano es igual a la masa atómica del carbono (12.01) más cuatro veces la masa atómica del hidrógeno (1.008).

**Gas real:** Es el gas cuyo volumen se reduce a la mitad de su volumen original, cuando la presión es menor de dos veces a la presión inicial.

$$PV = MZRT$$

**Gas seco:** Esta compuesto casi exclusivamente por metano (generalmente más del 90%).

**Gas húmedo:** Aún predomina un alto porcentaje de metano (75-95%) aunque las cantidades relativas de los componentes más pesados son mayores que en el caso de un gas seco.

**Análisis composicional del gas:** Tiene como objeto obtener la composición de una mezcla por destilación a bajas temperaturas, cromatografía o espectrometría de masas.

**Masa molecular media ( $\bar{M}$ ):** Dado que una mezcla de gas esta compuesta por

moleculas de varios tamaños, no es correcto decir que una mezcla de gas tiene una masa molecular. Sin embargo ésta se comporta como si fuera un gas puro con una masa molecular definida. Esta masa molecular es conocida como masa molecular media y esta definida como:

$$\bar{M} = \sum_{i=1}^n \eta_i M_i$$

Donde:  $M_i$  = masa molecular del componente  $i$

$\eta_i$  = fracción molar del componente  $i$

## R E F E R E N C I A S

- 1) Arzola Morales S. Eduardo, Venegas López M. Alberto: "Clasificación de los Fluidos de los Yacimientos, Técnicas de Muestreo y Análisis PVT"; Tesis Profesional: Facultad de Ingeniería, UNAM; México, D.F. 1983.
- 2) De la Garza Carrasco Nahum; "Apuntes de Físicoquímica y Termodinámica"; Facultad de Ingeniería, UNAM; México, D.F.
- 3) Gómez Cabrera José A.; "Apuntes de Manejo de la Producción en la Superficie"; Facultad de Ingeniería, UNAM; México, D.F.
- 4) Gómez Cabrera José A.; "Apuntes de la Clase de Manejo de la Producción en la Superficie"; Facultad de Ingeniería, UNAM; México, D.F.
- 5) Villarruel González Jaime; "Muestreo y Análisis PVT de los Hidrocarburos"; Tesis Profesional; Facultad de Ingeniería, UNAM; México, D.F. 1984.
- 6) Garaicochea Petirena Francisco; "Apuntes de Transporte de Hidrocarburos"; Facultad de Ingeniería, UNAM; México, D.F.

## CAPITULO VII

### TRATAMIENTO DE CAMPO DE CRUDO Y GAS

#### DESHIDRATACION Y DESALADO DEL CRUDO.

Es común que el aceite crudo producido de los yacimientos petrolíferos después de un cierto período de explotación, contenga agua y otras impurezas, las cuales deben ser removidas para propósitos de refinación o exportación de crudo.

Debido a esta situación es de suma importancia la deshidratación y desalado, ya que facilitará su procesamiento en refinería y además, evitará problemas que puedan presentarse en los equipos de calentamiento, tuberías y otras partes del sistema de transporte. Por otro lado, si el aceite contiene materiales contaminantes que excedan las especificaciones para su refinación o venta, el precio del crudo se verá afectado, ya que será necesario por parte del comprador, volverlo a tratar para poder efectuar el proceso de refinación.

#### EMULSIONES

Una emulsión es una mezcla entre dos líquidos inmiscibles, uno de los cuales está disperso en el otro en forma de gotas y se encuentra estabilizado por medio de un agente emulsificante. A las gotas dispersas se le conoce como la fase dispersa y al lí

quido que lo rodea se le conoce como fase continua.

El agente emulsificante aísla físicamente y eléctricamente a las gotas dispersas en la fase continua. En los yacimientos petroleros el agua y el aceite se encuentran como dos fases, las cuales al extraerse forman generalmente una emulsión agua en aceite, aunque en ocasiones se pueda presentar aceite en agua. El tipo de emulsión dependerá de la cantidad y características de cada fase, además de las condiciones que prevalezcan cuando la emulsión se forme. Sin embargo no existe una teoría coherente que describa la formación y estabilidad de las emulsiones. La mayoría de las discusiones teóricas están limitadas a sistemas y condiciones particulares, pero no son necesariamente aplicables a la generalidad de los casos.

#### PROCESO EN EL CAMPO DEL GAS NATURAL.

El gas natural, como se produce en el pozo, con frecuencia contiene impurezas para cuya eliminación debe tratarse antes de que pueda enviarse al mercado o usarse. Entre las impurezas más comunes están el ácido sulfhídrico y el vapor de agua. El gas que contiene cantidades apreciables de ácido sulfhídrico deberá tratarse para eliminarlo antes de comprimirlo. Esto puede hacerse pasando el gas por una torre de absorción en la que se pone en íntimo contacto con una solución de hidróxido de calcio o sodio y cloruro de sodio o carbonato de sodio, fenolato de sodio o cualquiera de las varias aminas. El vapor de agua en el gas natural puede

causar dificultades condensándose, congelándose o formando hidratos de gas. En las instalaciones superficiales de recolección, compresión y transmisión, el problema es eliminar el agua, ésto puede hacerse condensandola, acumulandola y drenandola del gas en trampas apropiadas o serpentines de enfriamiento o torres de lumbreira, o eliminandola poniendo el gas en contacto con reactivos químicos que absorben o se combinan fácilmente con el vapor de agua.

### PROBLEMAS RESUELTOS

1. ¿Cuál es el costo del reactivo desemulsificante?, dada la siguiente información:

RT (relación de tratamiento) = 1 bl<sub>reac.</sub>/10000 bl ac.  
(1:10000)

q<sub>0</sub> (aceite a tratamiento) = 75000 bl ac./dfa.

Pr (precio del reactivo) = 450 \$ / Kg.

$\rho_r$  (densidad del reactivo) = 0.98 Kg/l ( 1 = litros).

Fw (fracción de agua) = 0.33 agua en la emulsión.

Solución:

(a) Consumo de reactivo (Gr en bl/dfa).

De la ecuación:

$$Gr = q_0 \times RT$$

Substituyendo la información correspondiente:

$$Gr = 7.5 \text{ bl/dfa} = 1192.5 \text{ l/dfa}$$

(b) Costo del reactivo (CR en \$/día)

De la ecuación:

$$CR = Gr \times \rho \times Pr$$

Substituyendo:

$$CR = 525892.5 \text{ \$/día}$$

(c) Costo unitario de tratamiento por concepto de reactivo  
(CUR en \$/bl)

De la ecuación:

$$CUR = \frac{CR}{q_o \times (1 - F_w)}$$

Substituyendo:

$$CUR = 10.465 \text{ \$/bl}$$

Nota: Las ecuaciones se obtienen de la referencia 1

2. ¿Cuál es el costo por calentamiento?, dada la siguiente información:

$$q_o = 75000 \text{ bl/día}$$

$$F_w = 0.33$$

$$\rho_o \text{ (densidad del aceite)} = 0.86 \text{ Kg/l}$$

$$\rho_w \text{ (densidad del agua)} = 1.17 \text{ Kg/l}$$

$$T_i \text{ (Temperatura inicial)} = 82.4 \text{ °F}$$

$$T_f \text{ (Temperatura final)} = 167 \text{ °F}$$

$$C_{po} \text{ (capacidad calorífica del aceite)} = 0.49 \text{ BTU/lb-°F}$$

Cpw (capacidad calorífica del agua) = 1.00 BTU/lb - °F.

Pcg (poder calorífico del gas) = 1014 BTU/pie<sup>3</sup>.

Etc (eficiencia de tratamiento de calor) = 75%.

PG (precio del gas combustible) = 885 \$/10<sup>3</sup>pie<sup>3</sup> a  
C.S.

Solución:

(a) Gasto de aceite neto (Go en l/hr).

De la ecuación:

$$G_o = 6.625 \times q_o \times (1-F_w)$$

Substituyendo:

$$G_o = 332906.25 \text{ l/hr} .$$

(b) Gasto de agua neto (Gw en l/hr).

De la ecuación:

$$q_w = 6.625 \times q_o \times F_w$$

Substituyendo:

$$q_w = 163968.75 \text{ l/hr} .$$

(c) Cálculo del calor absorbido por la emulsión:

De la ec. de Fourier:

$$Q = W \times C_p \times \Delta T = W \times C_p \times (T_f - T_i)$$

W (Gasto másico en lb/hr)

Cp (Capacidad calorífica en BTU/lb-°F)

De la ecuación:

$$W_o = 2.2 \times G_o \times \rho_o$$

Substituyendo:

$$W_o = 629858.63 \text{ lb/hr.}$$

De la ecuación:

$$W_w = 2.2 \times q_w \times \rho_w$$

Substituyendo:

$$W_w = 422058.8 \text{ lb/hr.}$$

De la ec. de Fourier:

$$Q_o = 26110160 \text{ BTU/ hr.}$$

$$Q_w = 35705900 \text{ BTU/ hr.}$$

$$Q_t = 61816060 \text{ BTU/ hr.}$$

(d) Consumo de gas (  $C_g$  en  $\text{pie}^3 / \text{hr a c.s.}$ ).

De la ecuación:

$$C_g = \frac{Q_t}{P_{cg}} \times \frac{100}{Etc}$$

Substituyendo:

$$C_g = 81283.45 \text{ pie}^3/\text{hr a c.s.}$$

(e) Costo del gas combustible (CGC en  $\$/\text{dfa}$ ).

De la ecuación:

$$CGC = C_g \times 24 \times PG$$

Substituyendo:

$$CGC = 1726460.40 \text{ } \$/\text{dfa}$$

(f) Costo unitario de tratamiento por concepto de calentamiento (CUG en \$/bl),

De la ecuación:

$$CUG = \frac{CGC (\$/d) \times 159 \text{ l}}{G_0 (1 / \text{hr}) 1 \text{ bl}} \times \frac{1 \text{ dfa}}{24 \text{ hr}} = 6.625 \times \frac{CGC}{G_0}$$

Substituyendo:

$$CUG = 34.357 \text{ \$ /bl.ac.}$$

Nota: Las ecuaciones se obtienen de la referencia 1.

Donde:

El costo unitario de tratamiento del aceite es:

$$CUT = CUR + CUG \text{ en } (\text{ \$ /bl.ac.}).$$

3. Análisis de Factibilidad (para acondicionar un tanque de almacenamiento como deshidratador).

Datos:

TR (tiempo de residencia) = 14 hr.

CT (capacidad del tanque) = 85000 bl.

HT (altura del tanque) = 12 m.

$q_0$  (aceite a tratamiento) = 75000 bl/dfa.

Solución:

(a) Determinación de la constante del tanque en (CTQ en bl/m)

De la ec:

$$CTQ = \frac{CT}{HT}$$

Substituyendo:

$$CTQ = 7083 \text{ bl/m}$$

- (b) Determinación del gasto de aceite de entrada al tanque ( q en bl/hr).

De la ec:

$$q = \frac{q_0}{24}$$

Substituyendo:

$$q = 3125 \text{ bl/hr}$$

- (c) Volumen requerido para el aceite y emulsión en el deshidratador ( Vo en bl ),

$$Vo = q \times TR = 3125 \times 14 = 43750 \text{ bl}$$

- (d) Determinación del tirante de aceite (y emulsión) en el deshidratador (Ho en m),

$$Ho = \frac{Vo}{CTQ} = 6.20 \text{ m}$$

- (e) Determinación del tirante disponible para almacenar los líquidos en el deshidratador (aceite y agua) ya que se recomienda que los derrames de aceite se localicen a 1.20 m. de distancia a partir del domo del deshidra-

tador. (Hd tirante disponible en m),

$$H_d = H_T - 1.20 = 12 - 1.20 = 10.80 \text{ m.}$$

(f) Determinación del tirante de agua en el deshidratador  
(Hw en m),

$$H_w = H_d - H_o = 10.80 - 6.20 = 4.60 \text{ m.}$$

Nota: Las ecuaciones se obtienen de la referencia 1.

4. Obtener el costo del reactivo desémulsificante con ayuda del análisis de costos de tratamiento. Dada la siguiente información:

$$RT = 1:15000.$$

$$q_o = 75000 \text{ bl/día.}$$

$$Pr = 600 \text{ \$/Kg.}$$

$$\rho_r = 0.99 \text{ Kg/l.}$$

$$Fw = 33\%.$$

Solución:

(a) Consumo de reactivo.

$$Gr = 75000 \times \frac{1}{15000} = 5 \text{ bl/día} = 795 \text{ l/día.}$$

(b) Costo del reactivo.

$$CR = 795 \times 0.99 \times 600 = 472230 \text{ \$/día.}$$

(c) Costo unitario de tratamiento por concepto de reactivo.

$$\text{CUR} = \frac{472230}{75000 \times (1-.33)}$$

$$\text{CUR} = 9.40 \text{ \$/bl (costo por barril de ac. tratado),}$$

5. Obtener el costo unitario de tratamiento del aceite, dada la siguiente información:

$$q_0 = 51093 \text{ bl/día.}$$

$$F_w = 1.65\%.$$

$$\rho_o = 0.86 \text{ Kg/l.}$$

$$\rho_w = 1.17 \text{ Kg/l.}$$

$$T_i = 82.4 \text{ °F.}$$

$$T_f = 167 \text{ °F.}$$

$$C_{p_o} = 0.49 \text{ BTU/lb-°F.}$$

$$C_{p_w} = 1.00 \text{ BTU/lb-°F.}$$

$$\text{Etc} = 75\%.$$

$$P_{c_g} = 1014 \text{ BTU/pie}^3.$$

$$P_G = 885 \text{ \$/1000 pie}^3.$$

$$\text{CUR} = 10.00 \text{ \$/bl.}$$

Solución:

$$(a) \text{ Gasto de aceite neto.} \quad G_o = 332906.25 \text{ l/hr.}$$

$$(b) \text{ Gasto de agua neto.} \quad q_w = 5585.10 \text{ l/hr.}$$

$$(c) \text{ Gasto másico de aceite.} \quad W_o = 629858.63 \text{ l/hr.}$$

$$(d) \text{ Gasto másico de agua.} \quad W_w = 14376.05 \text{ l/hr.}$$

$$(e) \text{ Calor absorbido por la emulsión.} \quad Q_t = 27326374 \text{ BTU/hr.}$$

(f) Consumo de gas,	$C_g = 862371 \text{ pie}^3/\text{día}$
(g) Costo de gas combustible,	$CGC = 763198 \text{ \$/día}$
(h) Costo unitario de tratamiento.	$CUG = 15.20 \text{ \$/bl ac.}$
(i) Costo unitario de tratamiento del aceite.	$CUT = CUR + CUG$ $CUT = 25.20 \text{ \$/bl ac.}$

## PROBLEMAS PROPUESTOS

### SERIE 1.VII

- 1.1.- ¿Cuáles son los principales agentes emulsificantes, presentes en el aceite crudo?.
- 1.2.- ¿Cuáles son los agentes químicos desemulsificantes más utilizados en la industria petrolera?.
- 1.3.- ¿Qué efectos se combinan para efectuar el tratamiento de las emulsiones?.
- 1.4.- Mencionar los equipos de deshidratación y desalado más comunes en la industria petrolera.
- 1.5.- ¿En qué consiste la determinación del poder calorífico de un gas?.
- 1.6.- Una planta deshidratadora maneja un gasto de  $36,000 \text{ m}^3/\text{día}$  de aceite bruto, el cual contiene 7% de agua libre y 2300 libras de sal por c/1000 bl. En el laboratorio se determinó mediante prueba de botella que el empleo de reacti

vo químico deberá de ser de:

RT ( $1 \text{ m}^3$  reactivo -----  $85000 \text{ m}^3$  aceite).

- (a) Determinar el consumo de reactivo en litros por día (Gr). Sol. Gr = 424 l/día .
- (b) Si la planta consume 790 litros de reactivo por día, ¿Cuál es la relación de tratamiento para  $3000 \text{ m}^3/\text{día}$ ?. Sol. RT = 1:3798 l de ac.
- (c) Si el precio del reactivo (Pr) es de 500 \$/l, determinar el costo unitario de tratamiento por concepto de reactivo tanto para el inciso a) como para b). Sol.  $\text{CUR}_a = 1.006 \text{ \$/bl}$ ,  $\text{CUR}_b = 22.51 \text{ \$/bl}$ .

#### SERIE 2.VII

- 2.1.- Mencionar las principales sales solubles en agua.
- 2.2.- ¿A qué se determina, tensión interferencial?.
- 2.3.- ¿Cuáles son los problemas y daños que provocan los materiales contaminantes en el manejo de producción?.
- 2.4.- ¿Qué se entiende por emulsión inestable?.
- 2.5.- ¿Cuáles son las condiciones necesarias para formar una emulsión inversa?.
- 2.6.- ¿Cuáles son las funciones que debe realizar un desesulficante para que sea efectivo?.

- 2.7.- Calcular la velocidad de asentamiento para que las gotas de menor tamaño se asienten, dada la siguiente información:

Densidad relativa del agua	= 1.015 (agua = 1),
Densidad del aceite	= 16°API,
Viscosidad del aceite	= 0.12395 lb <sub>m</sub> /pie-min.
Radio de la partícula	= 100 micras.

Además obtener el tiempo en que las gotas tardan en asentarse, si la gota está a cuatro metros de altura.

Sol. Vel asentamiento = 140 cm/hr, Tiempo = 2.86 hr.

#### SERIE 3.VII

- 3.1.- Definir; tensión superficial.
- 3.2.- ¿De qué está compuesta una emulsión agua en aceite?.
- 3.3.- ¿Qué se entiende por emulsión estable?.
- 3.4.- ¿Por qué factores está influenciada principalmente la velocidad de asentamiento por gravedad?.
- 3.5.- ¿Cómo afecta el PH de la fase acuosa a la estabilidad de la emulsión agua en aceite?.
- 3.6.- ¿Cómo afecta el grado de agitación y la viscosidad del aceite a la estabilidad de una emulsion agua en aceite?.

3.7.- Se tiene un aceite con una viscosidad de 2.50 cp a una temperatura de 158°F. Determinar:

(a) La densidad relativa del aceite. Sol. 0.86

(b) La pérdida de volumen del crudo en porcentaje.  
Sol. 1.2121%

3.8.- Se tiene un aceite con una densidad relativa de 0.86 a una temperatura de 147.2 °F. Determinar:

(a) Viscosidad del aceite en cp. Sol. 2.90 cp

(b) Pérdidas por gravedad °API. Sol. 0.66

(c) Pérdidas de volumen en porcentaje. Sol. 1.1212%

Nota: Utilizar las figuras VII.2 en los problemas 3.7 y 3.8.

#### SERIE 4.VII

4.1.- ¿Qué tipo de emulsiones es más común que se presenten en la industria petrolera?

4.2.- ¿Cuál es la dosificación de reactivo más común en México?

4.3. ¿Cuáles son los valores máximos aceptados en el aceite en cuanto al porcentaje de agua y salinidad, para oleoductos y refinación?

4.4.- ¿En qué beneficia aplicar calor a una emulsión agua en aceite?

- 4.5.- ¿Qué se entiende por tanques deshidratadores?.
- 4.6.- ¿Cuáles son las partes principales de los tratadores electrostáticos?.
- 4.7.- Obtener la velocidad de asentamiento de la partícula de un tanque deshidratador, que contiene, 200 pie<sup>3</sup> de aceite el cual pesa 10250 lb. Además se cuenta con la siguiente información:

$$\sigma_w = 1.03 \text{ (agua = 1).}$$

$$R_s = 1700 \text{ pie}^3/\text{bl.}$$

$$T = 255 \text{ }^\circ\text{F.}$$

$$\text{Diámetro de la partícula} = 6.5617 \times 10^{-5} \text{ pie.}$$

$$\text{Sol. V} = 79.67 \text{ cm/hr (referencia 2).}$$

#### SERIE 5.VII

- 5.1.- ¿Cuál es la función del glicol en la deshidratación del gas?.
- 5.2.- ¿Cómo se puede comprobar la eficiencia de una planta deshidratadora?.
- 5.3.- ¿Cómo se deben tomar las muestras de una emulsión?.
- 5.4.- ¿Qué factores se consideran para la selección del mejor reactivo desemulsificante?.

5.5.- ¿Para qué son utilizados los eliminadores de agua libre?

5.6.- ¿Qué se entiende por tratadores convencionales?

5.7.- Obtener el costo unitario de tratamiento del aceite (CUT).

Dada la siguiente información:

RT = 1:10000 bl de ac.

Pr = 500 \$/kg.

$\rho_r = 7.094 \text{ lb/gal.}$

Fw = 29%.

$\rho_w = 1.15 \text{ gr/cm}^3.$

Ti = 30°C.

Tf = 80°C.

Cpo = 0.50 BTU/lb - °F.

Cpw = 1.00 BTU/lb - °F.

Pcg = 1016 BTU/pie<sup>3</sup>.

Etc = 70%.

PG = 900 \$/10<sup>3</sup> pie<sup>3</sup> a c.s.

R = 40 pie<sup>3</sup>/bl.

qg = 70 793.45 m<sup>3</sup>/día a cond.  
estándar.

Componente

Fracción molar (X)

C <sub>1</sub>	0.17256
C <sub>2</sub>	0.25062
C <sub>3</sub>	0.27228
nC <sub>4</sub>	$\frac{0.30454}{1.00000}$

Sol. CUT = 38.20 \$/blo.

## G L O S A R I O

- Mezcla:** Resultado de unir, incorporar o fundir en una sola dos o más substancias.
- Solución:** Acción y efecto de disolverse.
- Dispersión:** Nombre dado a todo cuerpo sólido, líquido o gaseoso que contiene a otro cuerpo uniformemente repartido por toda su masa.
- Ionización:** Es una separación ya sea total o parcial de elementos de un átomo, por reacción química por temperatura o por descargas eléctricas, y por el proceso de disociación en los electrolitos, y por la conductancia de gases. Una vez separados del átomo presentan cargas (-) o (+) y se llaman iones.
- Normalidad:** Una solución es normal cuando contiene un equivalente químico de soluto en un litro de solución (1000 cc de disolvente).
- Disolución:** Fenómeno físico-químico que permite la solubilidad de las sales en agua.
- Salas:** Substancias solubles que se obtienen en el interior de la tierra o evaporando las aguas del mar.

Sales (comunes): Cloruro de potasio (KCl), Cloruro de sodio (NaCl) y Cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>).

Solución saturada: Es aquella en la que ya no es posible seguir admitiendo material en solución.

Solución no saturada: Es aquella que tiene la capacidad de seguir disolviendo material en ella.

Emulsificante: Es un agente activo de superficie el cual altera las características de la interfase agua-aceite.

Partes por millón (ppm): Es la salinidad en gramos de NaCl por millón de mililitros de aceite y se determina usando la siguiente expresión:

$$(\text{ppm}) = \frac{0.0585 \text{ NV}}{v}$$

donde el factor 0.0585 es la masa equivalente de NaCl dividida por 1000; N es la normalidad de una solución de nitrato de plata (Ag NO<sub>3</sub>); V es el volumen de esta solución gastada para precipitar los cloruros y el denominador v es el volumen de agua usada en la determinación, expresado en mililitros.

## R E F E R E N C I A S

- 1) Julian Eljure Abraham; "Deshidratación y Desalado del Cru-  
do"; Facultad de Ingeniería; UNAM. Tesis Profesional 1986.
- 2) Garaicochea Petirena Francisco: "Apuntes de Transporte de  
Hidrocarburos"; Facultad de Ingeniería, UNAM; México, D.F.
- 3) Gómez Cabrera José A.: "Apuntes de Manejo de la Producción  
en la Superficie": Facultad de Ingeniería, UNAM; México,  
D.F.
- 4) Lester Charles Uren; "Ingeniería de la Producción del Petró  
leo"; Editorial CECSA; México, D.F.
- 5) De la Garza Carrasco Nahum: "Apuntes de Fisicoquímica y Term  
odinámica": Facultad de Ingeniería, UNAM; México, D.F.

PROBLEMAS PRACTICOS

OPERACION DEL SEPARADOR PORTATIL (ROLO)

El separador portátil (Rolo) es un equipo que sirve para obtener a boca de pozo la producción de éste. Consta de un separador de alta presión, uno de baja presión, instrumentos de medición (registrador de flujo, fitting, etc.), tanque de aforo (medición), así como sus respectivos dispositivos de control en los separadores.

Los pasos a seguir para operar un separador portátil (Rolo) son los siguientes:

- 1) Revisar las presiones del pozo (en las dos ramas de la T. P.).
- 2) Revisar el diámetro del estrangulador (colocar el adecuado )
- 3) Revisar el amarre del Rolo hacia el tanque de aforo y a la presa de quema, así como las conexiones completas del mismo. Todo esto a la presión a manejar.
- 4) Revisar el tanque de aforo.
- 5) Abrir lentamente en el árbol la válvula lateral de la tu-

15) Desmontar el equipo.

#### VALVULAS TERMICAS

Son instaladas en los sistemas de recuperacion de vapores para cerrarlos en el caso de posible incendio y evitar la propagación de la flama hacia el tanque de almacenamiento a través del colector de vapores. La válvula está compuesta en el interior por un plato con vástago en ambos extremos, el cual se desliza a través de unas guías y debe estar en posición abierta, para permitir el flujo de los vapores (que emana el tanque) hacia el quemador.

Para mantener el plato de la válvula en posición abierta, ésta consta de una cápsula o elemento fusible que está diseñado de tal manera, que cierre al ocurrir un flamazo en el paquete de regulación de gas que alcance una temperatura de 127°C, dicho elemento deberá ser reemplazado para volver el plato a su posición original. Como las válvulas térmicas son instaladas conjuntamente con las válvulas arresta flamas, deberán instalarse en igual número y pueden colocarse indistintamente antes o después.

#### METODO PRACTICO PARA LA OBTENCION DEL DIAMETRO DE LOS COLECTORES DE RECIBO EN UNA BATERIA

El sistema de recolección está constituido generalmente por un colector o múltiple de recolección, el cual es el punto de convergencia de las líneas de escurrimiento de los pozos produc

- bería de producción hacia la presa de quema, hasta estabilizar la presión en el pozo, tomar muestra del mismo.
- 6) Anotar la hora de inicio y terminación de la operación.
  - 7) Anotar cualquier cambio realizado durante la operación.
  - 8) Una vez estabilizado el pozo, hacer cambio de rama. Abrir la rama que va hacia el Rolo y cerrar la rama que va a la presa de quema.
  - 9) Entrando el flujo al Rolo, mandar el aceite y el gas separados hacia la presa de quema para controlar normalmente los separadores.
  - 10) Controlados los separadores, se hace un cambio de flujo, cerrando la válvula en la línea de aceite que va hacia la presa de quema y abriendo la válvula en la línea de aceite que va hacia el tanque de medición.
  - 11) Revisar al terminar la operación; presiones del pozo, de los separadores, temperaturas, lecturas en el registrador de flujo y las mediciones en el tanque de aforo.
  - 12) Cerrar el pozo o descargarlo hacia la presa de quema.
  - 13) Medir el volumen de gas y aceite. Tomar una muestra antes de cerrar el pozo.
  - 14) Dejar desfogado a cero presiones los separadores y bajar al mínimo el nivel de aceite en el tanque de aforo.

tores del campo en explotación. El múltiple de recolección transporta los fluidos bajo condiciones de flujo multifásico. Las correlaciones que se pueden utilizar para el diseño del colector son la de Eaton, Bertuzzi y Begg y Brill para flujo multifásico en tuberías horizontales, entre otras. (Ver Apuntes de Transporte de Hidrocarburos).

El análisis de tales correlaciones salen del alcance de este capítulo, ya que el propósito principal es presentar fórmulas aplicables a las necesidades de campo, es decir, fórmulas prácticas para el caso en que no se cuente con la suficiente información, como para aplicar las correlaciones.

- 1) Cálculo del diámetro considerando que maneja únicamente aceite.

Fórmula práctica para el flujo turbulento:

$$DP = 0.002649 \left( \frac{f \times L \times q_0^2 \times \rho_0}{d_1^5} \right) \quad \dots(1)$$

Donde:

DP = Diferencial de presión en kg/cm<sup>2</sup> man.

f = Factor de fricción, adimensional.

q<sub>0</sub> = Gasto de aceite manejado en bl/día a condiciones estándar.

d<sub>1</sub> = Diámetro interior de la tubería en pg.

L = Longitud en Km.

ρ<sub>0</sub> = Densidad del aceite en gr/cm<sup>3</sup>.

Determinación del factor de fricción (f) a partir del Número de Reynolds.

Fórmulas: 
$$NR = \frac{q_o}{d_s \times K} \quad \dots(2)$$

a)  $K' = 0.22 \times S - \frac{195}{S}$ ; si  $50 < S < 100$

b)  $K' = 0.22 \times S - \frac{180}{S}$ ; si  $S < 50$

c)  $K' = 0.22 \times S - \frac{135}{S}$ ; si  $S < 100$

$K'$  = Viscosidad del aceite en centistokes.

$S$  = Viscosidad del aceite en S.S.U.

$K = \frac{K'}{100}$ : en Stokes.

Con el valor de K obtenido y el diámetro de línea supuesto se substituyen los valores en la fórmula 2.

Donde: NR = Número de Reynolds.

$q_o$  = Gasto de aceite manejado en bl/día. a c.s.

$d_s$  = Diámetro interior (supuesto) de la tubería en pg.

$K$  = Viscosidad cinemática del aceite en Stokes.

$$K \text{ (stokes)} = \frac{\mu \text{ (Poises)}}{\rho \text{ (gr/cc)}}$$

Con el valor de NR obtenido se determina el factor de fricción "f" (usando la Tabla VIII.1 anexa) el cual a su vez es substituído en la ecuación 1 para obtener el diámetro real ( $d_1$ ). En el supuesto caso que el diámetro real obte-

nido ( $d_1$ ) difiera del supuesto ( con una cierta tolerancia) se recalculará el Número de Reynolds con el diámetro encontrado real ( $d_1$ ) y se continuará hasta obtener el nuevo diámetro.

- 2) Cálculo del diámetro considerando que se maneja únicamente gas.

En la industria petrolera existen varias ecuaciones para calcular el flujo de gas en tuberías; sin embargo, dos de ellas son las más populares o las de mayor uso debido a su fácil aplicación: Weymouth y Panhandle (ver Capítulo II).

La ecuación de Panhandle es ampliamente utilizada para problemas donde se tengan altas presiones y tuberías de gran diámetro.

La ecuación de Weymouth es generalmente preferida para tuberías de pequeño diámetro y rangos moderados de presión.

Para éste caso se usa la ecuación de Weymouth:

$$DP = P_1 - P_2 = 0.000504 \times \left( \frac{(P_o)^2 \times (q_g)^2 \times L \times \bar{V}_g \times T}{(T_o)^2 \times P_m \times (d_2)^{5.33}} \right) \dots(3)$$

Donde: DP = Diferencial de presión en lb/pg<sup>2</sup> abs.

$P_1$  = Presión inicial en lb/pg<sup>2</sup> abs.

$P_2$  = Presión final en lb/pg<sup>2</sup> abs.

$P_0$  = Presión base en lb/pg<sup>2</sup> abs.

$T_0$  = Temperatura base en °R

$q_g$  = Gasto de gas en miles de pie<sup>3</sup>/día a cond. estándar.

$L$  = Longitud de la línea en pie.

$\gamma_g$  = Densidad relativa del gas (aire = 1).

$T$  = Temperatura de flujo en °R.

$P_m$  = Presión media  $((P_1 + P_2)/2)$  en lb/pg<sup>2</sup> abs).

$d_2$  = Diámetro interno en pg.

Una vez que se obtienen los diámetros para manejar aceite y para manejar gas, se calcula el diámetro equivalente con la siguiente ecuación:

$$d_e^{2.530} = d_1^{2.530} + d_2^{2.530} \quad \dots(4)$$

$d_e$  = diámetro de diseño para los colectores en batería  
(colectores de recibo en pg).

#### METODO PRACTICO PARA LA SELECCION DE VALVULAS DE CONTROL DEL NIVEL DE LIQUIDO EN LOS SEPARADORES

Dos tipos de válvulas son usadas comunmente en la industria Petrolera.

a.- Válvulas motoras (Kimray) accionadas con pilotos.

b.- Válvulas con actuador neumático accionadas por un control de nivel (Fisher).

- a) Diseño del diámetro de válvula motora (Kimray) para manejo de la producción de líquidos en los separadores.

Para separadores generalmente se pueden seguir dos criterios:

I.- Partiendo del gasto de líquido a manejar por la batería y dividiendo éste entre el número de separadores, se determina el gasto a manejar por unidad.

II.- Partiendo de la capacidad de manejo de líquidos por el separador seleccionado. Fijar este gasto como el necesario para el diseño.

Nota: Usar la Tabla VIII.2 (Anexa).

- b) Diseño de la válvula con actuador neumático, accionada por control de nivel (Fisher).

Para determinar el tipo de válvula necesaria para manejar la producción de aceite de un separador, se parte de la de terminación del coeficiente de flujo para líquidos ( $C_v$ ) cu ya ecuación es:

$$C_v = q_o \times \frac{\gamma_o}{DP} \quad \dots(5)$$

Donde:  $C_v$  = Coeficiente de flujo (líquidos).

$q_o$  = Gasto de aceite en gal/min a cond. flujo.

$\gamma_o$  = Densidad relativa del aceite (agua = 1).

DP = P1 - P2 diferencial de presión a través de la válvula en lb/pg<sup>2</sup> abs.

NOTA: Usar la Tabla VIII.3 (Anexa).

### PROBLEMAS RESUELTOS

1.- Calcular el diámetro del colector general de una batería, dada la siguiente información:

No. de líneas que concurren al cabezal	= 10.
Producción por pozo	= 10,000 bl/día a cond. estándar.
Producción de aceite en la batería	= 100000 bl/día a cond. estándar.
Producción de gas en la batería	= 168.42 MMPCD a cond. estándar.
Caída de presión a través del colector	= 0.1 kg/cm <sup>2</sup> man.
Densidad del aceite	= 0.89 gr/cm <sup>3</sup> .
Densidad del gas	= 0.78 (aire = 1).
Viscosidad del aceite	= 71 S.S.U.
Presión base	= 14.7 lb/pg <sup>2</sup> .
Temperatura base	= 86 °F
Longitud del colector	= 20 m.
Temperatura de flujo	= 70 °C.
Presión inicial	= 111.4 lb/pg <sup>2</sup> man.
Presión final	= 110.0 lb/pg <sup>2</sup> man.
Pm	= 125.4 lb/pg <sup>2</sup> abs.

Solución:

(a) Cálculo del diámetro considerando que maneja únicamente aceite.

Como  $50 < S < 100$ , la viscosidad en Stokes es:

$$K = 0.1287 \text{ Stokes}$$

Suponiendo un diámetro ( $d_s$ ) = 20  $\mu$ g.

$$NR = \frac{q_o}{d_s x K} = \frac{100000}{20 \times 0.1287} = 38,839$$

De la Tabla VIII.1 (anexa),

NR	"f"
35 000	0.0233
50 000	0.0216

Interpolando para NR = 38,839.

$$\begin{array}{rcl} 15000 & - & 0.0017 \\ 3839 & - & x \end{array}$$

$$x = 0.000435$$

Oblenemos "f" = 0.02286.

Substituyendo valores en la ecuación 1 y despejando el diámetro se tiene:

$$d_1^5 = 108135.96$$

$$d_1 = 10.15 \text{ pg.}$$

Recalculando NR con el valor de  $d_1 = 10.15 \text{ pg}$ ; substituyendo valores en la ecuación 2, se tiene:

$$NR = \frac{100000}{10.15 \times 0.1287} = 76552$$

De la Tabla VIII.1 (anexa).

NR	"f"
70 000	0.0203
90 000	0.0191

Interpolando para NR = 76552.

$$\begin{array}{rcl} 20\ 000 & - & .0012 \\ 6552 & - & .x \end{array}$$

$$x = 0.0003931$$

Obtenemos "f" = 0.019907.

Substituyendo valores en la ecuación 1 y despejando el diámetro, se tiene:

$$d_1 = 9.88 \text{ pg}$$

Por tanto se observa que el diámetro real es de:

$$d_1 = 10 \text{ pg}$$

(b) Cálculo del diámetro considerando que maneja únicamente

gas.

De la ecuación 3, despejando el diámetro se tiene:

$$d_2 = 5.33 \sqrt{\frac{0.000504 \times (P_0)^2 \times (q_g)^2 \times L \times \bar{v}_g \times T}{(T_0)^2 \times P_m \times DP}}$$

Substituyendo valores en la ecuación anterior:

$$d_2 = 14.97 \text{ pg} = 15 \text{ pg}$$

Para determinar el diámetro equivalente se utiliza la ecuación 4.

$$d_e = 2.53 \sqrt{d_1^{2.530} + d_2^{2.530}}$$

Substituyendo  $d_1$  y  $d_2$  obtenidos anteriormente se tiene:

$$d_e = 2.53 \sqrt{10^{2.53} + 15^{2.53}}$$

$$d_e = 16.93 \text{ pg}$$

Se deberá escoger el diámetro inmediato superior, el cual para éste caso será el diámetro del colector.

- 2.- Calcular el diámetro de la válvula motora (Kimray) si se tiene que la batería puede manejar 200 000 bl/día de aceite, y se tienen 6 separadores. Se obtuvo del cálculo para separadores que un separador puede manejar 28 800 bl/día, a condiciones de operación.

Solución:

Gasto manejado por el separador de producción según el criterio I.

$$\frac{q_0}{6} = \frac{200\ 000}{6} = 33333.3 \text{ bl/día/separador.}$$

Gasto manejado por el separador de producción según el criterio II.

Del cálculo de los separadores  $q_0 = 28\ 800$  bl/día/separador.

Caída de presión a través de la válvula:

DP = Presión de separación - Presión en el colector de aceite.

$$DP = 7.03 \text{ kg/cm}^2 - 1.055 \text{ kg/cm}^2 = 5.975 \text{ kg/cm}^2$$

$$DP = 85 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

Con éste valor de DP y recurriendo a la Tabla VIII.2 (anexa) para Kimray motora modelo 212 SMT. Se encuentra que la válvula de 4 pg con una caída de presión de  $80 \text{ lb/pg}^2$  maneja un gasto de 31 300 bl/día y con una caída de presión de  $100 \text{ lb/pg}^2$  maneja un gasto de 33 500 bl/día.

Interpolando para  $85 \text{ lb/pg}^2$  de caída de presión se obtendrá 31850 bl/día. Este valor corregido por la densi-

dad del fluido manejado  $(1/\rho_o)^{\frac{1}{2}}$  da el valor real del gasto de aceite de 0.89 de densidad que maneja la válvula.

Esta corrección se hace debido a que el gasto indicado en la tabla está referido a bl/día de agua.

$$q_o = 31,850 \left( \frac{1}{0.89} \right)^{\frac{1}{2}} = 33\,761 \text{ bl/día a cond. de operación.}$$

3.- Obtener el diseño de una válvula Fisher, dada la siguiente información:

$$q_o = 33333.3 \text{ bl/día a condiciones de operación.}$$

$$\rho_o = 0.89 \text{ (agua} = 1)$$

$$DP = 85 \text{ lb/pg}^2$$

Solución:

Substituyendo los datos correspondientes en la ecuación 5, se tiene que:

$$Cv = 972.2 \sqrt{\frac{0.89}{85}} = 99.48$$

Recurriendo a la Tabla VIII.3 se encuentra que la válvula adecuada es una de diámetro de 4 pg, orificio de 4 3/8 pg y 2 pg de carrera:

al 60% tiene un coeficiente  $Cv = 79.7$  y

al 70% tiene un coeficiente  $Cv = 125$

Lo cual indica que para el valor obtenido anteriormen-

te de Cv = 99.48 la válvula operará entre el 60% y 70% de apertura.

#### PROBLEMAS PROPUESTOS

- 1.VIII ¿Cuál es la función de las bridas porta-orificio instaladas en la tubería de inyección los pozos de Bombeo Neumático?
- 2.VIII ¿Cuál es la información que debe reportarse, para el control de calidad de los hidrocarburos en pozos de producción?
- 3.VIII ¿Qué debe indicar el reporte diario de una batería de separación?
- 4.VIII ¿Qué diferencia existe entre una batería modular y una batería definitiva?
- 6.VIII ¿Qué se entiende por porta-estrangulador libre?
- 7.VIII En un pozo fluyente se toman las siguientes presiones:  
En la TP =  $20 \text{ kg/cm}^2$  man.  
En la TR =  $25 \text{ kg/cm}^2$  man.  
En la LD =  $15 \text{ kg/cm}^2$  man.

Posteriormente, en el mismo pozo se vuelven a tomar las siguientes presiones:

- En la TP =  $30 \text{ kg/cm}^2$  man.  
En la TR =  $35 \text{ kg/cm}^2$  man.

En la LD =  $20 \text{ kg/cm}^2 \text{ man.}$

¿Qué es lo que esta pasando?.

8.VIII Dada la siguiente información que corresponde a la batería AB.

Hrs	TQ (10000 bl)
9:00	4.82 m
10:00	4.91 m
11:00	4.99 m
12:00	5.10 m
13:00	5.28 m

Determinar:

(a) Producción en bl/día a condiciones superficiales.

Sol. Prod. = 2310 bl/día a c.s.

(b) Diámetro interior del tanque en cm.

Sol. di = 13.02 cm.

Se sabe que el factor del tanque es  $1.3303 \text{ m}^3/\text{cm.}$

9.VIII Calcular la producción diaria de aceite a condiciones superficiales del pozo No. 63.

Se sabe que al comenzar la medición el nivel de aceite en tanque de medición tiene una altura de 0.52 m y una temperatura de  $80.6^\circ\text{F.}$  Después de cuatro horas el nivel de

aceite en el tanque tiene una altura de 1.95 m con una temperatura de 107°F. Donde la constante del tanque es de 65.2 m<sup>3</sup>/cm.

Como la densidad varía con la temperatura aplicar la siguiente corrección:

$$F = 1 - (\text{Temp. de medición (°C)} - 20) (8.0 \times 10^{-4}).$$

Sol. Producción = 547 m<sup>3</sup>/día a c.s.

10.VIII Un pozo tiene un sistema artificial de B.N., donde su árbol es un FIP de 10000 lb/pg<sup>2</sup>. El pozo está conectado al anillo de BN en el que se tiene instalado un R. F. con un rango de (200 x 1500), con conexión en brida de 6 pg, una placa de orificio de 3/4 pg. Al inyectarle el gas se registra una Le = 7.65 y una Ld = 4.1. Si se sabe que la constante del aparato es de 1990 pie<sup>3</sup>/día.

Determinar:

La inyección del gas en m<sup>3</sup>/hr a condiciones superficiales.

Sol.  $q_g = 74 \text{ m}^3/\text{hr c.s.}$

11.VIII En una batería de separación se tiene instalada una bomba duplex que está siendo operada bajo las siguientes

condiciones:

Emboladas	= 45 epm.
Presión de descarga	= 1500 lb/pg <sup>2</sup> abs.
Gasto	= 284 gal/min a cond. flujo.
Diámetro de la camisa	= 6 pg.
Carrera del pistón	= 18 pg.
Eficiencia	= 80%

Determinar:

(a) El diámetro del vástago.

$$\text{Sol. } d = 2\text{-}3/4 \text{ pg.}$$

(b) La potencia hidráulica en esas condiciones.

$$\text{Sol. HHP} = 248.5 \text{ HP.}$$

12.VIII Una batería con cinco separadores, maneja una producción de 150000 bl/día. Se obtiene del dimensionamiento que un separador puede manejar 25467 bl/día con una presión de 9 kg/cm<sup>2</sup> abs. Si la presión en el colector de aceite es de 5.08 kg/cm<sup>2</sup> abs. y la densidad del aceite es de 0.85 gr/cm<sup>3</sup>. Dimensionar la válvula controladora de nivel (Kimray), obteniendo el gasto de líquido que manejará la válvula a condiciones de operación.

$$\text{Sol. Diámetro de la válvula} = 4 \text{ pg.}$$

$$\text{Gasto de líquido} = 28 \text{ 396 bl/día a c.op.}$$

13.VIII La producción de una batería de separación es de 150 000 bl/día a condiciones de operación, con un tren de tres separadores. Si la densidad del aceite es de 0.85 gr/cm<sup>3</sup> y la presión diferencial a través de la válvula es de 25 lb/pg abs, determinar el diámetro de la válvula y el coeficiente de flujo.

Sol. Diámetro de la válvula = 8 pg.

Coeficiente de flujo = 268.95

14.VIII Calcular el diámetro del colector de recibo en una batería. Dada la siguiente información:

No. de líneas que concurren al cabezal	= 12
Producción por pozo	= 1907.8 m <sup>3</sup> /día a condiciones estándar.
Producción de gas a manejar	= 170.35 MMPCD a condiciones estándar.
Presión inicial	= 126.5 lb/pg <sup>2</sup> man.
Presión final	= 125 lb/pg <sup>2</sup> man.
Densidad del aceite	= 0.87 gr/cm <sup>3</sup> .
Densidad del gas	= 0.65 (aire= 1.00).
Viscosidad del aceite	= 75 S.S.U.
Presión base	= 14.7 lb/pg <sup>2</sup> abs.
Temperatura base	= 80°F
Temperatura de flujo	= 160°F

Longitud del colector = 35 m.

Sol. Diámetro del colector = 18.74 pg ,



<TABLA VIII.2>

--- VALVULA KIMRAY MODELO 212 SMT CAPACIDAD ---

BLS. DE AGUA/DIA

CAIDA DE PRESION lb/pg <sup>2</sup>	# TAMAÑO DE LA VALVULA (PG.) #				
	- 3/4 y 1-	- 2 -	- 3 -	- 4 -	- 6 -
1	105	745	1760	3350	7800
2	150	1060	2500	4900	11000
3	180	1300	3050	6100	13500
4	210	1500	3500	7000	15600
5	235	1700	3900	7800	17500
10	330	2300	5600	11000	24700
15	405	2900	6800	13500	30200
20	465	3300	7900	15600	34900
30	575	4100	9600	19200	42700
40	660	4700	11100	22100	49300
50	740	5300	12400	24800	55200
60	810	5800	13600	27100	60500
70	875	6200	14700	29300	65400
80	935	6700	15700	31300	69800
100	1045	7500	17600	33500	78200
125	1170	8400	19700	39200	87500

< TABLA VIII.3 >

»»»» COEFICIENTE DE LIQUIDOS, Cv »»»»

DIAMETRO	ORIFICIO	CARRERA	PORCENTAJE DE APERTURA DE LA VALVULA									
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	1-5/16	3/4	.783	1.54	2.20	2.89	4.21	5.76	7.83	10.9	14.1	17.2
1-½	1-7/8	3/4	1.52	2.63	3.87	5.41	7.45	11.2	17.4	24.5	30.8	35.8
2	2-5/16	1-1/8	1.66	2.93	4.66	6.98	10.8	16.5	25.4	37.3	50.7	59.7
2-½	2-7/8	1-½	3.43	7.13	10.8	15.1	22.4	33.7	49.2	71.1	89.5	99.4
3	3-7/16	1-¾	4.32	7.53	10.9	17.1	27.2	43.5	66.0	97.0	120	136
4	4-3/8	2	5.85	11.6	18.3	30.2	49.7	79.7	125	171	205	224
6	7	2	12.9	25.8	43.3	67.4	104	162	239	316	368	394
8	8	2	18.5	38.0	58.4	86.7	130	189	268	371	476	567