

622.18282  
Ci359  
p.2



# Escuela Superior Politécnica del litoral

FACULTAD DE **INGENIERIA** GEOLOGIA, MINAS Y **PETROLEO**

**"Análisis Presión-Volumen-Temperatura (P.V.T):  
Modelo Operacional y Cálculos de  
Parámetros de Ingeniería de Yacimientos"**

## **TESIS DE GRADO**

**PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE  
INGENIERO DE PETROLEO**

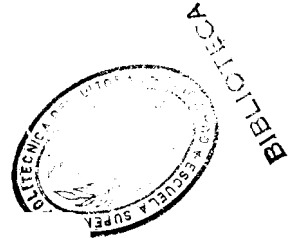
**PRESENTADA POR:**

**CARLOS CASTILLO A.**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**1987**

# A G R A D E C I M I E N T O



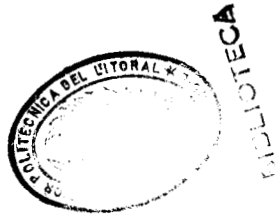
\*D-8318\*

AL PERSONAL TÉCNICO DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO, EN ESPECIAL AL ING. TIBURCIO MENDEZ POR LA ENTREGA DE SUS CONOCIMIENTOS,

AL ING. RICARDO GALLEGOS, DIRECTOR DE TESIS, POR SU AYUDA Y COLABORACION PARA LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO,

AL ING. DANIEL TAPIA, QUE POR SUS ESFUERZOS SE LOGRO DESARROLLAR ESTA AREA.

# DEDICATORIA



A MI PADRE Y A MI MADRE

A MI QUERIDA HIJA : CARLA ISDEL

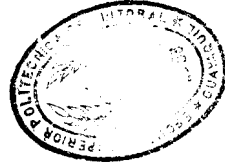
A MI ESPOSA : MARIA ISABEL

A MI HERMANA : NARCISA MARIA

A MIS SOBRINOS : FLOR

DANNY

JOSEPH



BIBLIOTECA

.....  
Ing. Daniel Tapia Falconí  
DECANO  
Facultad de Ingeniería Geología,  
Minas y Petróleo

.....  
Ing. Ricardo Gallegos Orta  
DIRECTOR DE TESIS

.....  
Ing. Luis Albán Granizo  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....  
Ing. Gabriel Colmont M.  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

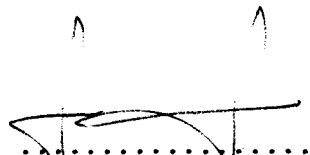
DECLARACION EXPRESA



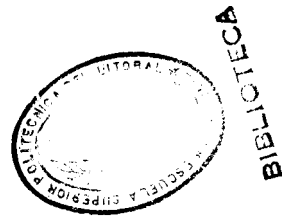
BIBLIOTECA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

  
.....  
CARLOS CASTILLO A.

## RESUMEN



En este trabajo se describe el método de análisis de sistemas de petróleos y gas disuelto de bajo encogimiento que se ha implantado en el Laboratorio de Yacimientos y Petrofísica, abarcando conceptos básicos, la parte experimental y el procedimiento de cálculo tanto a mano como computarizado.

En la parte experimental, se hace una descripción y calibración del equipo principal y auxiliar que se utiliza y de las operaciones detalladas para efectuar el estudio del comportamiento presión-volumen-temperatura (análisis P.V.T.) en muestras representativas de tales sistemas.

El procedimiento de cálculo se explica por medio de diagramas de bloques simplificados, en los cuales se muestra la procedencia de los datos y la secuencia de operaciones para obtener las características de los fluidos. Además se explica el procedimiento de cálculo usando el sistema de tabulación por ser de fácil uso para la enseñanza. Finalmente se elabora un programa de cómputo para la realización pronta y oportuna de los cálculos para informe técnico, el mismo que también se elaboró.



RESUMEN

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

INTRODUCCION

I. CONCEPTOS BASICOS

1.1 Clasificación de los yacimientos de acuerdo al diagrama de fases

1.1.1 Tipos de yacimientos del Ecuador

1.2 Métodos de muestreo

1.3 Propiedades físicas de los hidrocarburos:  
Factores de volúmenes

1.4 Simulación de la producción

1.4.1 Liberación instantánea

1.4.2 Liberación diferencial

11. EQUIPOS DE LABORATORIO

2.1 Instalación del equipo: área, seguridad e higiene

2.2 Bomba de desplazamiento volumétrico

2.2.1 Precauciones

2.2.2 Interpretación de las medidas de volumen

2.3 Celda P.V.T.

2.3.1 Ventana de vidrio para observación visual del proceso de liberación

	<u>Pág.</u>
2.3.2 Tipos de sellos	59
2.3.3 Instalación de la ventana	65
2.3.4 Prueba de instalación .	68
2.3.5 Baño de temperatura constante .	70
2.3.6 Panel de controles	74
2.4 Equipo auxiliar	75
2.4.1 Viscosímetro de alta presión .	76
2.4.2 Gasómetros	78
2.4.3 Bombas de vacío	80
2.4.4 Cromatógrafo de gas	81
III. SISTEMA DE CALIBRACION DE EQUIPOS .	84
3.1 Calibración de manómetros	84
3.2 Calibración de la bomba de desplazamiento	86
3.2.1 Hoja de calibración : Determinación del factor de calibración de la bomba	89
3.3 Calibración de la celda P.V.T.	90
3.3.1 Preparación de la celda .	90
3.3.2 Determinación de la capacidad de la celda .	94
3.3.3 Variación del volumen de la celda con la presión	98
3.3.4 Variación del volumen de la celda con la temperatura	104
3.3.5 Presentación de resultados de la ca libración	106



	<u>Pág.</u>
IV. ANALISIS P.V.T. : PROCEDIMIENTOS DE OPERACION	108
4.1 Traspaso de la muestra a la celda .	110
4.2 Calentamiento de la muestra a la temperatura del yacimiento. Expansión térmica .	114
4.3 Liberación instantánea .	115
4.4 Liberación diferencial .	118
4.5 Enfriamiento de la muestra a la temperatura de laboratorio	121
V. CALCULOS MANUALES Y COMPUTARIZADOS	122
5.1 Documentos de las hojas de cálculo .	122
5.2 Diagrama de flujo .	150
5.3 Descripción del programa	151
VI. PRESENTACION DE INFORME TECNICO .	172
6.1 Consideraciones generales	172
6.2 Datos volumétricos	173
6.3 Relaciones de presión y volumen .	174
6.4 Liberación diferencial .	175
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .	177
ANEXOS . . . . .	179
BIBLIOGRAFIA .	188

## INDICE DE FIGURAS

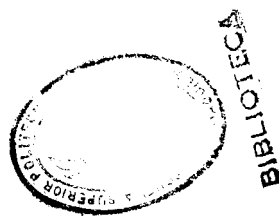


BIBLIOTECA

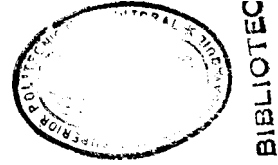
Nº

Pág.

- 1.1 Diagrama de fases .
- 1.2 Muestreador : corte seccional .
- 1.3 Variación del volumen relativo versus presión
- 1.4 Variación del factor de volumen total y del petróleo versus presión .
- 1.5 Variación del factor de volumen del gas versus presión
- 1.6 Variación de la relación gas-disuelto petróleo versus presión
- 1.7 Variación de la gravedad específica del gas versus presión
- 1.8 Variación de la densidad del petróleo versus presión
- 1.9 Proceso de liberación instantánea .
- 1.10 Proceso de liberación diferencial . .
- 2.1 Diagrama presión-temperatura . .
- 2.2 Vista frontal de la ventana armada .
- 2.3 Celda P.V.T. visual en baño de aceite .
- 2.4 Sello aro de sección cuadrada . .
- 2.5 Sello compuesto .
- 2.6 Sello resina fenólica . .
- 2.7 Vista frontal del panel de controles .

Nº

- 2.8 Gasómetro .
- 3.1 Probador de pesos muertos .
- 3.2 Esquema de una bomba de desplazamiento .
- 4.1 Disposición del equipo durante el traspaso
- 4.2 Disposición del equipo durante el calentamiento
- 4.3 Disposición del equipo durante la liberación diferencial .
- 5.1 Cálculo de los volúmenes de muestra a condiciones de yacimiento .
- 5.2 Cálculo del coeficiente de expansión térmica de la muestra
- 5.3 Cálculo de compresibilidad y volumen relativo de muestra
- 5.4 Cálculo de los factores de volumen y desviación del gas
- 5.5 Cálculo de los factores de volumen y densidad del petróleo



## INTRODUCCION

El movimiento de los hidrocarburos desde el fondo del pozo a la superficie para ser transportado hacia las facilidades de superficie, está sujeto a cambios de presión y **temperatura**. Debido a esta razón existe producción de gas en el yacimiento, que cambiará la composición de los hidrocarburos ocasionando que el yacimiento tenga un petróleo remanente.

Cambios considerables en el volumen y las propiedades del mismo, hacen de la predicción del comportamiento de los yacimientos una gran tarea y su estudio dependerá de los datos obtenidos tanto en el laboratorio como en el campo, estudios que deben ser realizados sobre muestras representativas del yacimiento.

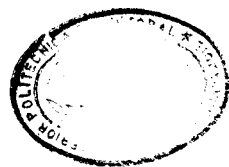
El presente trabajo está encaminado a dar los conocimientos básicos y prácticos para el manejo de la celda P.V.T. así como **también** la conversión de los datos obtenidos en el laboratorio a parámetros aplicados a la ingeniería de petróleo. / P.V.T. es la abreviación para presión, volu-  
men, temperatura que involucra mediciones de propiedades físicas sobre muestras de hidrocarburos que se encuentran en equilibrio.

Como esquema de trabajo realizamos un breve estudio de los tipos de yacimientos que existen en el Ecuador, los tipos de muestreo en la industria petrolera y se efectuó la calibración-operación de la celda P.V.T. del laboratorio de yacimientos y petrofísica, el mismo que servirá para prácticas de docencia, investigaciones petroleras y trabajos de servicios a la industria.

Presentamos el informe de un análisis P.V.T. sin las pruebas de cromatografía y viscosidades. Para el cálculo a mano de los parámetros de ingeniería se utilizó el método de tabulación por considerarse más sencillo y además se realizó un programa de cómputo en el microcomputador IBM AT de propiedad de la Facultad.

## CAPITULO 1

### CONCEPTOS BASICOS



BIBLIOTECA

#### 1.1 CLASIFICACION DE LOS YACIMIENTOS DE ACUERDO AL DIAGRAMA DE FASES.

La clasificación de los yacimientos se basa tomando en cuenta la composición química de los hidrocarburos, la presión y la temperatura, pudiendo clasificarlos tan sólo con las condiciones de presión y temperatura iniciales con respecto al diagrama de fases.

Cada mezcla de hidrocarburos tendrá su propio diagrama de fases donde el área encerrada por la envolvente formada por la curva de burbujeo y la curva de rocío es la región de 2 fases: líquida y gaseosa.

Los yacimientos de petróleo básicamente se dividen en dos grupos: yacimientos ordinarios y yacimientos cercanos al punto crítico.

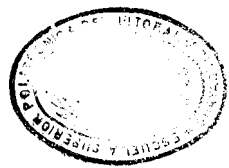
A los yacimientos de petróleo ordinario se los denomina algunas veces "petróleos negros" aunque no existe una línea divisoria precisa entre yacimientos ordinarios y yacimientos cercano al punto crítico.

Debido a la composición del hidrocarburo y a la temperatura del yacimiento se hace a menudo imposible determinar el tipo de yacimiento a ser estudiado, lo que se consigue con la completa observación de su comportamiento en el laboratorio.

Obsérvese la Fig. N<sup>o</sup> 1.1, el punto A se encuentra fuera de la región de 2 fases, siendo su fase inicial gaseosa. Mientras se abate la presión (trayectoria A-A1) estará en la región de una fase, el fluido producido en superficie entra en la región de dos fases (trayectoria A-A2) y los fluidos remanentes en el yacimiento permanecen en una sola fase.

El punto B encontramos un fluido en una sola fase siendo la temperatura del yacimiento mayor a la temperatura crítica. Durante el proceso de producción su composición permanecerá constante hasta el punto de rocío (trayectoria B-B1) a presiones menores de ésta se tiene una producción de condensados que deja a la composición original sin componentes licuables y el líquido condensado permanecerá en el yacimiento produciendo en superficie una relación gas-petróleo incrementada.

Este fenómeno recibe el nombre de "CONDENSACION RE-



TROGRADA" produciendo un desplazamiento de la envolvente de fases ocasionada por el cambio de composición, si este desplazamiento es hacia la derecha implica un aumento del líquido condensado que se queda en el yacimiento como fluido perdido.

Supóngase idealmente que el desplazamiento no ocurre lo que implica que se producirá una liberación (trayectoria B2-B3), la cual resultará en un aumento del líquido condensado recuperable, una disminución de la relación gas-petróleo. El líquido condensado remanente en el yacimiento será mayor a menor temperatura del yacimiento, altas presiones de abandono y mayor desplazamiento de la envolvente.

En el punto C encontramos un fluido en una sola fase (fase líquida) siendo la temperatura del yacimiento menor que la temperatura crítica. Durante el proceso de producción su composición permanece constante hasta el punto de burbujeo (trayectoria C-C1).

En el punto D encontramos un fluido en dos fases: una fase en estado líquido y otra fase en estado gaseoso. Cada fase tendrá una envolvente debido a la diferencia de composición, la fase líquida estará saturada y la fase gaseosa estará en el punto de





BIBLIOTECA

rocío pudiendo ser retrógrado.

En resumen, los yacimientos de una sola fase con agotamiento volumétrico se comportan únicamente como:

- 1) Yacimientos de gas (punto A).
- 2) Yacimientos de condensación retrógrada (punto B).
- 3) Yacimientos bajo saturado (punto C).
- 4) Yacimientos localizados en el punto D (región de dos fases). La fase líquida producirá como un ya cimiento de gas disuelto y la fase gaseosa como un yacimiento de gas indicado en (1) y (2).

#### 1.1.1 TIPOS DE YACIMIENTOS DEL ECUADOR.

Los yacimientos más importantes están en la Cuenca Oriental donde aún se explora y se explota petróleo, en la Península de Santa Elena, Golfo de Guayaquil, y en Prov. de Manabí.

Con la información disponible en la ESPOL se pudo estudiar una clasificación basada en los parámetros característicos del fluido de un yacimiento, como la densidad del líquido, relación gas-petróleo, peso molecular medio, etc., el método más correcto sería caracterizar el yacimiento en función de su temperatura de fondo, en relación con la temperatura del punto crítico en un diagrama de fases del



fluído total del yacimiento<sup>(3)</sup>.

Básicamente el petróleo producido en la Cuenca Oriental proviene de dos formaciones: Formación Napo y hollín,

La formación Napo cuya profundidad media es de 9000 pies, tiene dos intercalaciones de arena denominadas "U" y "T" que aportan petróleo a 15 campos aproximadamente llegando a tener una relación gas-petróleo máxima de 420 pie<sup>3</sup>/BN, factores de volúmenes de petróleo hasta 1.35 BY/BN, gravedad del petróleo media 30" API, temperatura de fondo media de 200°F.

La formación Hollín tiene profundidades medias de 10000 pies, aportan producción a 16 campos aproximadamente, llegando a tener una relación gas-petróleo máxima de 150 pie<sup>3</sup>/BN, factores de volúmenes de petróleo hasta 1.20 BY/BN, densidad del petróleo hasta 31" API, temperatura de fondo hasta 250°F.

Con esta información resumida se puede determinar que los yacimientos de la cuenca oriental son de petróleo más gas disuelto de bajo encogimiento (petróleo negro) y su estudio termodinámico puede ser estudiado en la celda de una ventana con la técnica detallada en *este* trabajo.

## 1.2 METODOS DE MUESTREO (14)

El estudio de áreas desarrolladas de un yacimiento es imprescindible tener cuando se quiere muestrear correctamente, debido a que existen factores que de bemos tomar en cuenta como: es la mecánica de flujo, estado de las instalaciones superficiales para conocer R GP. Estos factores son :

- 1) PERIODO DEL MUESTREO.- Si la presión del yacimiento ha caído en un 80% de la presión original, las muestras serán inútiles y nos ocasionarán errores en las estimaciones de las reservas<sup>(7)</sup>.

Por lo tanto, el muestreo se debe realizar en el período inicial del yacimiento y en etapas avanzadas. del mismo para confirmar los datos más representativos de la muestra inicial.

- 2) PLAN DE ACONDICIONAMIENTO DEL POZO Y PROGRAMA DE PRUEBAS.- Las muestras de fluídos deben ser tomadas sólomente después que hemos realizado un plan de acondicionamiento del pozo. El tiempo de preparación varía entre 8-10 días, y no hay que pensar esto como pérdida de producción sino que debe ser interpretada como una producción diferida.



3) HISTORIA DE PRODUCCION.- Cuando se programa un pozo para muestrear deberá tenerse a mano la historia de producción del campo para tener un conocimiento de zonas menos explotadas que tienen una presión mayor o igual al punto de burbujeo; debe tenerse el comportamiento de la relación gas-petróleo y porcentaje de saturación de agua. Finalmente, debe conocerse el estado de las instalaciones superficiales, puesto que con ellas se conocen con precisión la RGP.

4) MECANICA DE FLUJO.- Es importante conocer el mecanismo de flujo porque nos dará una idea de como está produciendo el yacimiento. Así tenemos que yacimientos con casquetes de gas los pozos a elegirse serán aquellos que estén produciendo en zonas alejadas del contacto gas-petróleo.

En yacimientos bajo saturados donde la expansión de los fluidos y la compresibilidad de la roca juegan un papel importante en la producción y si el yacimiento está produciendo por debajo del punto de burbujeo tendremos una zona de alta saturación de gas alrededor de la boca del pozo, lo que hace incrementar la permeabilidad del gas dando como resultado que la relación gas-petró-

leo no guarde relación con el tipo de yacimiento, pero esta dificultad es corregible con una adecuada preparación del pozo.

5) NUMERO DE MUESTRAS POR POZO.- Este factor es muy importante debido a que depende de la extensión del yacimiento y del factor económico de la empresa.

Debe en todo caso tomarse una cantidad suficiente de muestras por pozo para tener propiedades promedias de los fluídos.

En esencia existen dos tipos de muestreo: El muestreo de fondo y el muestreo de superficie.

En el muestreo de fondo, la preparación del pozo es una técnica precedente y decisiva para realizar el muestreo que se puede hacer en condiciones estáticas o dinámicas, por medio de una línea de acero (wireline) y un muestreador que tiene las siguientes características: mide 1.80 m de largo y 5 cm de diámetro y almacena un volumen de 600 cm<sup>3</sup>. (Fig. N° 1.2).

Existen dos tipos de mecanismos de cierre en las

puertas de entrada: el tipo HUMBLE y el tipo WOFFORD.

El tipo Humble con membrana de termopresión abre sus puertas a las condiciones de presión y temperatura establecidas en la calibración de las válvulas accionadoras. La falla de este sistema y la dificultad de calibración de la membrana termopresión hacen muestrear a profundidades no deseadas o en caso contrario no se abren durante la toma de muestras.

Este sistema presenta una variante con un dispositivo que suelta un clavo que rompe la membrana termopresión o un disco fino dando paso al llene del barril muestreador.

El tipo Wofford mantiene sus puertas abiertas mientras baja la herramienta; en la profundidad deseada se tira la línea de acero en superficie accionando el cierre de las puertas y atrapando el fluido deseado. Otro modelo incluye el uso de un cronómetro que acciona el cierre de las puertas.

La presencia de fluidos muy viscosos dificulta el accionamiento de cierre de las puertas y la línea está sujeta a los golpes con la tubería de producción, mientras es corrida dentro del pozo y las vál

vulas son accionadas antes de llegar a la profundidad de muestreo.

En el muestreo superficial, la preparación del pozo es similar a la del muestreo de fondo, se debe tener exactitud en la relación gas-petróleo, dato que es muy importante en la recombinación efectuada en el laboratorio y así reconstruir una muestra con las mismas características del fluido en el yacimiento. El recombinado se hace con los datos de medición corrigiendo con sus factores de volúmenes respectivos.

La técnica para muestreo superficial de gas es la siguiente:

- 1) Hacer vacío a la botella muestreadora.
- 2) Hacer una conexión de la botella con la salida de gas en el separador antes del orificio de medición.

En el muestreo de gas o líquido debemos asegurar la botella muestreadora para evitar la entrada de aire, que en caso de haber aire debemos realizar purgas sucesivas.

Cuando se muestrea gas debemos llenar la botella portamuestra con fluido que no contamine la muestra, debido al abatimiento brusco de la presión en el interior, ocasionando un condensado muy difícil de sacar por purgas y además este condensado altera la composición original de la muestra de gas.

Las muestras, ya sean de líquido o gas deben pasar por deshidratadores para la remoción de trazas de agua presente en la muestra, para esto se utiliza cloruro de calcio como deshidratador.

Una muestra recombinada y con datos precisos de la relación gas-petróleo deben ser tan aceptables como una muestra de fondo. Se tiene la ventaja de no cerrar el pozo, tardan menos tiempo y además se tiene menos riesgos de representatividad de la muestra. Para estos propósitos-debemos seguir ciertos lineamientos tales como :

• ←

- a) Se debe registrar en forma permanente la relación gas-petróleo.
- b) Medir la presión y temperatura del separador.
- c) Hacer pruebas de liberación instantánea en el laboratorio para conocer el factor de volumen del



petróleo.



d) Debemos tener en cuenta las presiones estáticas y de fondo.

e) Debe medirse la temperatura de fondo del pozo.

### 1.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS HIDROCARBUROS. FACTORES DE VOLUMENES.

Por lo general, el análisis PVT tiene por objetivo proporcionar datos de propiedades físicas del comportamiento volumétrico y de fase de fluidos almacenados en los yacimientos, indispensable para realizar la predicción del comportamiento, así como las técnicas adecuadas de explotación de los mismos.

Estos datos son los siguientes :

a) VOLUMEN RELATIVO.- Es la relación del volumen total de muestra ( $V_t$ ) a una presión dada con respecto al volumen de muestra a la presión de saturación ( $V_s$ ):

$$V_r = V_t/V_s$$

donde :

$V_r$  = volumen relativo

$V_t$  = volumen total

$V_s$  = volumen a la presión de saturación

En la Fig. N<sup>o</sup> 1.3, se presenta la variación del volumen relativo versus la presión.

- b) FACTOR DE VOLUMEN BIFASICO.- Definido como la relación del volumen total ocupado por los fluidos a una presión dada entre el volumen de petróleo residual resultante de una liberación diferencial medido a 60°F y 14.7 LPC.

$$B_t = V_t / V_{or}$$

donde :

$B_t$  = Factor de volumen bifásico

$V_t$  = Volumen total

$V_{or}$  = Volumen de petróleo residual

- c) FACTOR DE VOLUMEN DEL PETROLEO.- Definido como la relación del volumen líquido medido a una presión y temperatura dada con respecto al volumen de líquido medido a 60°F y 14.7 Lpc

$$B_o = V_o / V_{or}$$

donde :

$B_o$  = Factor de volumen del petróleo

$V_o$  = Volumen de petróleo + gas disuelto.

En la Fig. N<sup>o</sup> 1.4, se presenta la variación de

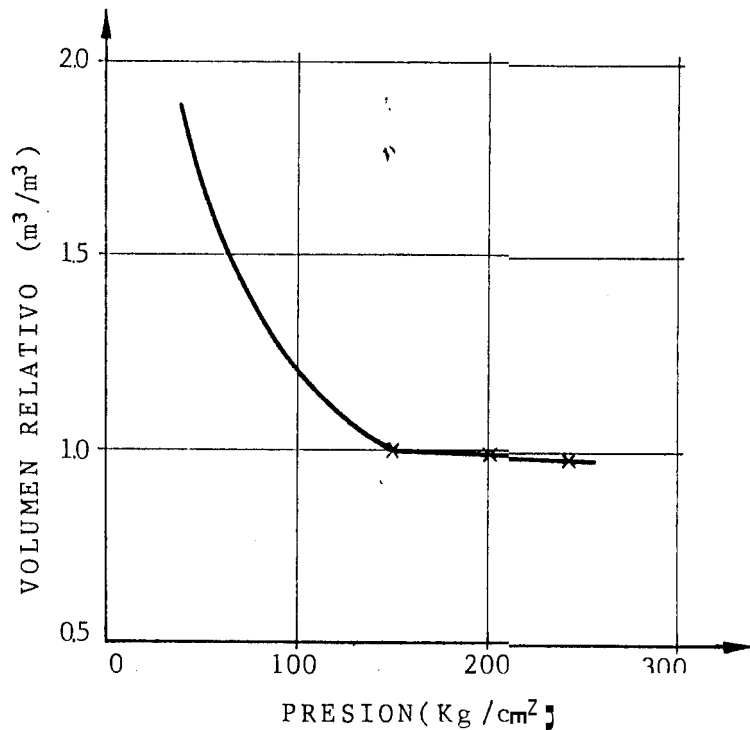


Fig N°1.3 VARIACION DEL VOLUMEN RELATIVO VERSUS PRESION.

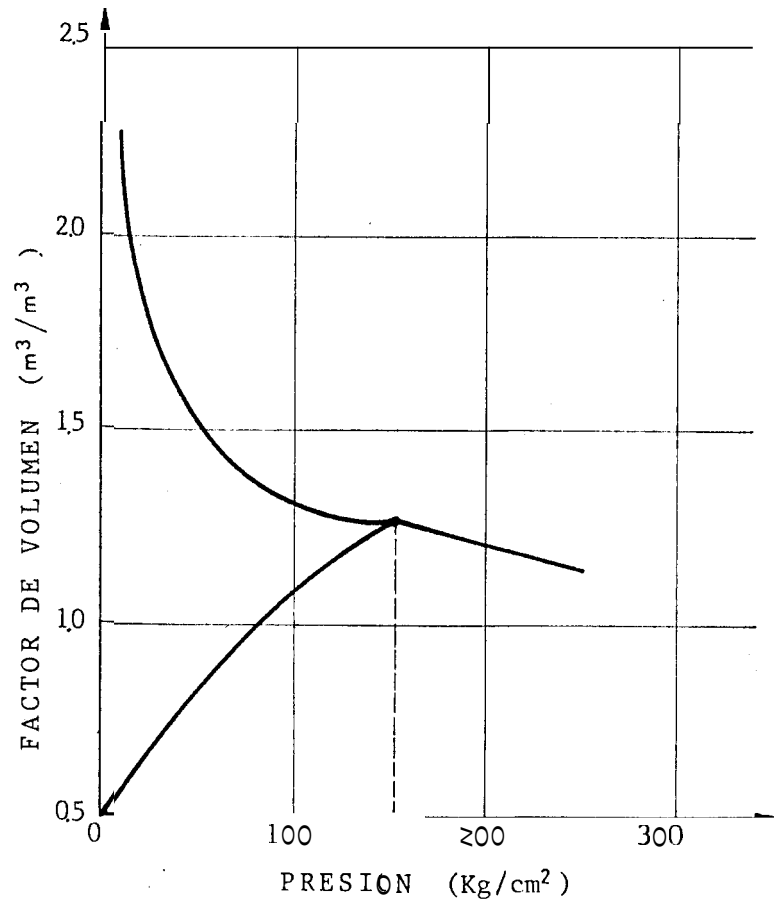


Fig N°1.4 VARIACION DEL FACTOR DE VOLUMEN TOTAL Y DEL PETROLEO VS. PRESION



los factores de volúmenes total y del petróleo versus la presión.

- d) FACTOR DE VOLUMEN DEL GAS.- Se define como la relación del volumen del gas a una presión dada y temperatura de yacimiento con respecto al volumen de gas a condiciones de 60°F, 14.7 Lpc.

$$B_g = V_{gcy}/V_{gcn}$$

donde :

$B_g$  = Factor de volumen del gas.

$V_{gcy}$  = Volumen del gas a condiciones del yacimiento.

$V_{gcn}$  = Volumen del gas a condiciones normales (60 F y 14.7 Lpc).

En la Fig. N° 1.5, se presenta la variación de  $B_g$  versus la presión.

- e) RELACIÓN GAS DISUELTO-PETROLEO. - Es la relación del volumen de gas disuelto con respecto al volumen de petróleo residual medidos a Condiciones normales.

$$R_s = V_{gd}/V_{or}$$

donde :



$R_s$  = Relación gas disuelto-petróleo.

$Y_{gd}$  = Volumen de *gas disuelto* a condiciones yacimiento.

En la Fig. N° 1.6, se presenta la variación de  $R_s$  versus presión.

f) COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA.- Es la variación del volumen con el cambio de temperatura por unidad de volumen, midiéndose los volúmenes a la misma presión.

Con los volúmenes tomados a temperatura ambiente ( $T_a$ ) y temperatura ( $T_Y$ ) se obtiene el coeficiente aplicando la siguiente ecuación:

$$B = (\Delta V / \Delta T) p * 1/V$$

donde :

$\Delta V$  = Incremento de volumen por el cambio de temperatura.

$\Delta T$  = Incremento en la temperatura ( $T_2 - T_1$ )

$V$  = Volumen del sistema

g) COMPRESIBILIDAD.- Es el cambio de volumen con la variación de presión o también llamado coeficiente de expansión isotérmica, este coeficiente se lo determina Únicamente para el petróleo bajo saturado a la temperatura del yacimiento aplican

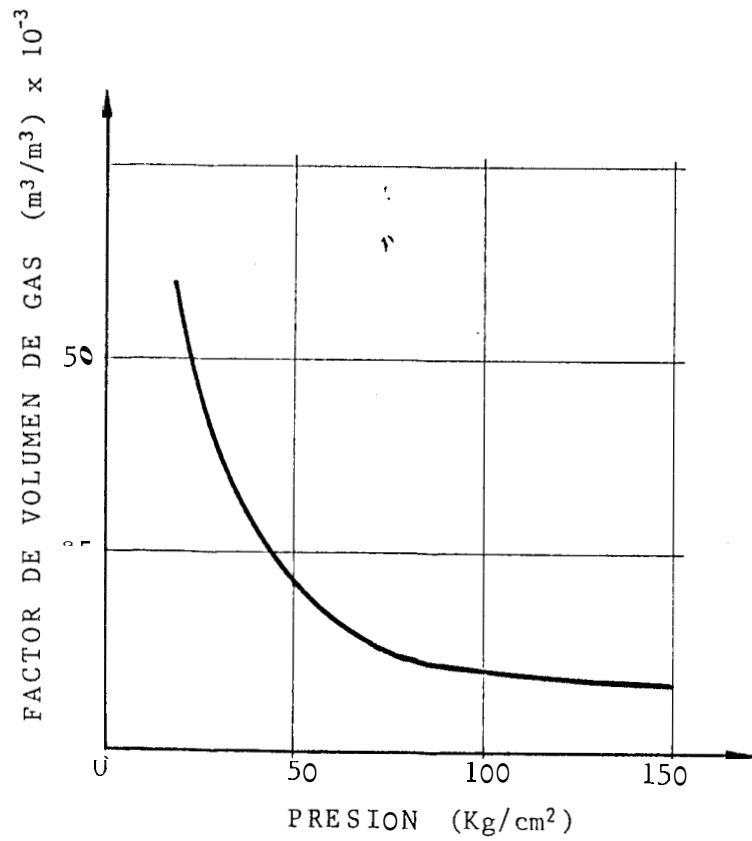


Fig N°1.5 VARIACION DEL FACTOR DE VOLUMEN DEL GAS  $V_g$  VERSUS PRESION.

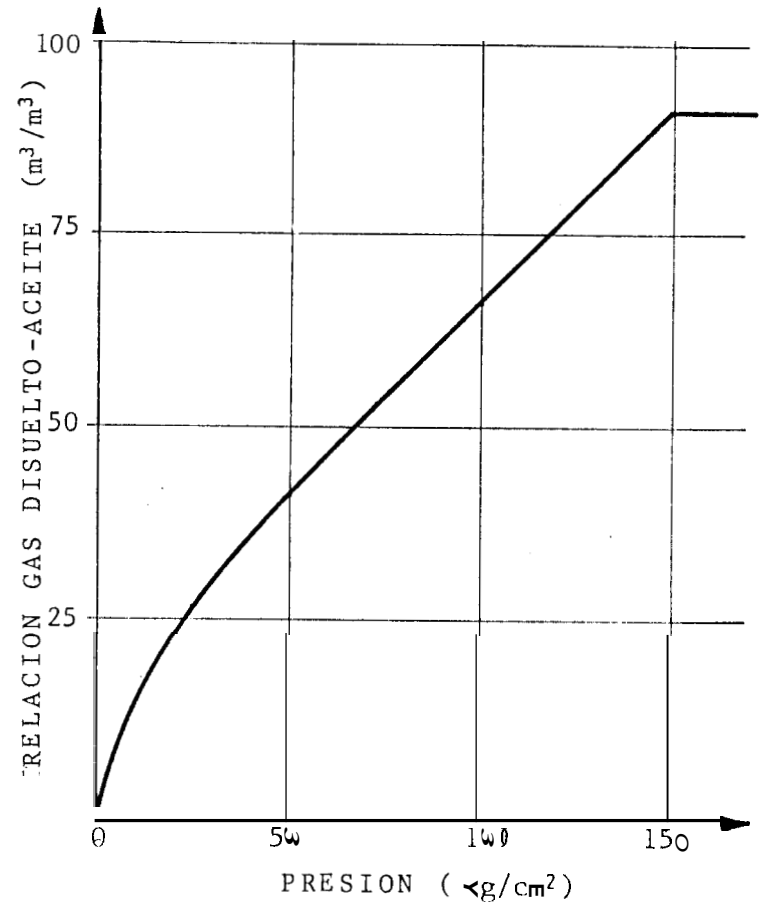


Fig N°1.6 VARIACION DE LA RELACION GAS-DISUELTO PETROLIO VS. PRESION



BIBLIOTECA



do la siguiente ecuación :

$$c = - (\Delta V / \Delta P) t * 1/11$$

donde:

AP = Incremento de la presión ( $P_2 - P_1$ ).

h) GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS.- Es la relación del peso específico del gas con respecto al peso específico del aire. Se lo obtiene gravimétricamente pesando un balón de cristal lleno de gas a la presión atmosférica; luego se hace lo mismo pesando el balón con aire y al vacío.

$$GE_g = \frac{W_g}{W_a}$$

donde :

$GE_g$  = Gravedad específica del gas

$W_g$  = Peso del gas

$W_a$  = Peso del aire

El aire y el gas se deben pesar en el mismo recipiente y a las mismas condiciones de presión y temperatura, por lo tanto volúmenes serán iguales.

Una gráfica de la gravedad específica del gas contra la presión se muestra en la Fig. N° 1.7.



i) DENSIDAD DEL PETROLEO SATURADO.- Para el cálculo de la densidad del petróleo saturado se aplican las siguientes ecuaciones:

$$\rho_o = (M_{or} - M_{gdis}) / V_{oi}$$

La masa del petróleo residual ( $M_{or}$ ) se calcula con su volumen y densidad previamente determinados y la masa del gas disuelto ( $M_{gdis}$ ) con la ecuación:

$$M_{gdis} = M_{gd1} - M_{gd1}$$

Para obtener la masa del gas liberado en una etapa cualquiera se utiliza la siguiente ecuación:

$$M_{gl} = GE_g * V_{gl} * \rho_a$$

donde:

$M_{or}$  = Masa del petróleo residual

$M_{gdis}$  = Masa del gas disuelto en la etapa i

$V_{oi}$  = Volumen del petróleo saturado en la etapa i

$M_{gd1}$  = Masa total del gas disuelto liberado, en m etapas.

$M_{gd1}$  = Masa total del gas disuelto liberado hasta la etapa s.

$M_{gl}$  = Masa del gas liberado.

$V_{gl}$  = Volumen del gas liberado.

$GE_g$  = Gravedad específica del gas liberado.

$\rho_a$  = densidad absoluta del aire a las condiciones del gas.



La Fig. N<sup>o</sup> 1.8, muestra la variación de la densidad del petróleo saturado con la presión.



j) VISCOSIDAD DEL PETROLEO SATURADO.- Para obtener la viscosidad del petróleo saturado se utiliza un viscosímetro de alta presión y la siguiente expresión:

$$U_o = (\rho_b - \rho_o) * t * K$$

donde :

$U_o$  = Viscosidad del petróleo saturado

$\rho_b$  = Densidad de la bolilla

= Densidad del petróleo saturado

$t$  = Tiempo de rodamiento de la bolilla.

$K$  = Constante de calibración del aparato.

La viscosidad sólo puede medirse cuando el fluido está en una fase, por lo tanto los tiempos de rodamiento a la presión de saturación se los obtiene por extrapolación de los valores observados a presiones mayores,

#### 4 SIMULACION DE LA PRODUCCION

En la producción de un yacimiento existen dos procesos separados o una combinación de ellos: liberación instantánea y liberación diferencial del gas.

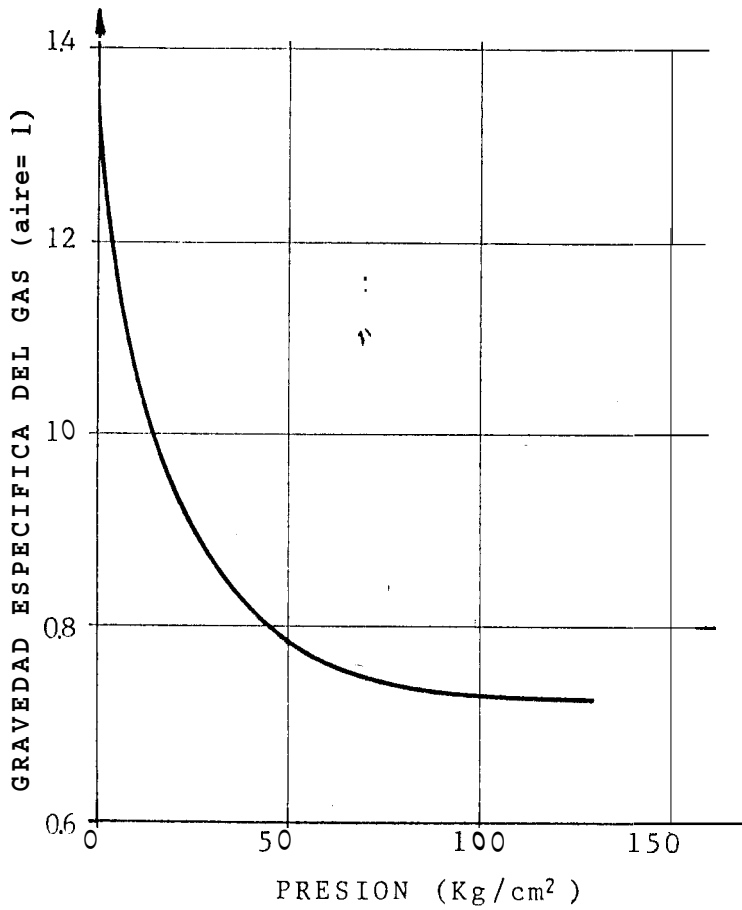


Fig N°1.7 VARIACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS VERSUS PRESION.

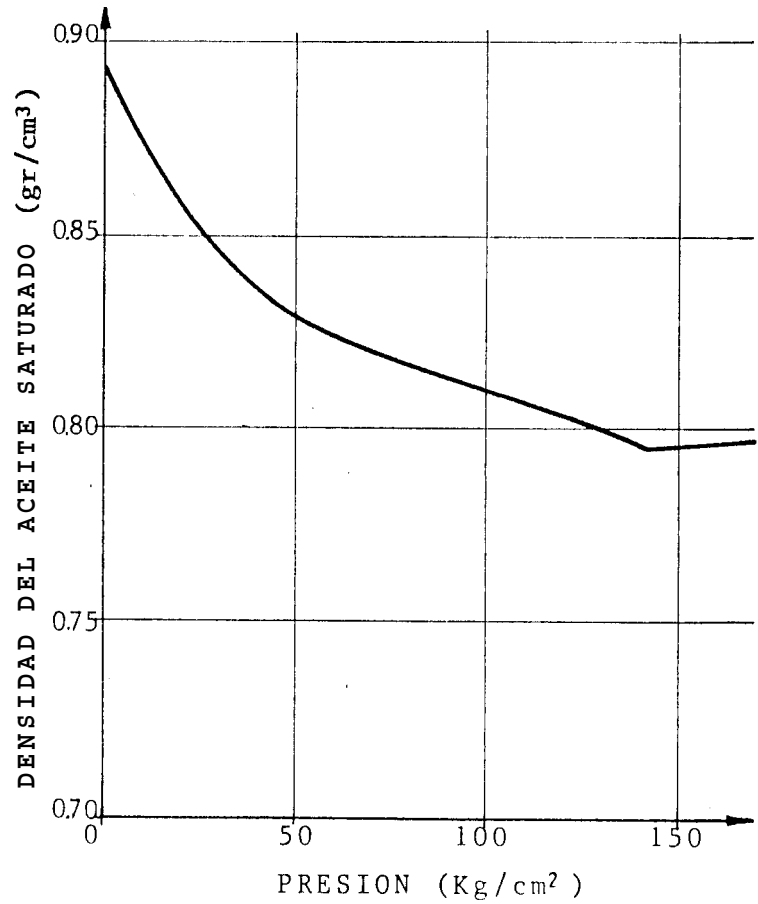


Fig N°1.8 VARIACION DE LA DENSIDAD DEL PETROLEO VERSUS PRESION.

#### 1.4.1 LIBERACION INSTANTANEA

Una liberación instantánea se define como aquella en la cual el volumen de gas y de líquido liberado varían permaneciendo constantes tanto la composición como la masa del sistema.

Los diagramas que se ilustran en la Fig. N°1.9, indican en forma idealizada un proceso de liberación instantánea.

En (a), la muestra se encuentra a la presión del yacimiento ( $P_1$ , en este caso, superior a la presión de saturación) ocupando un volumen  $V_1$ . En (b), la presión se ha abatido hasta la presión de saturación ( $P_1 = P_s$ ), a la cual aparece la primera burbuja de gas y el volumen ha aumentado hasta  $V_s$ .

En (c), la muestra se encuentra a una presión menor que la de saturación ( $P_2$ ) y existen las fases líquida y gaseosa en equilibrio ( $V_3 = V_t = V_{gas} = V_{liq}$ )

De la liberación instantánea a temperatura del yacimiento, se obtienen los siguientes resultados :

- El volumen relativo de las fases.
- El coeficiente de expansión térmica del petróleo saturado.

#### 1.4.2 LIBERACION DIFERENCIAL

Una liberación diferencial es aquella en la cual la composición y la masa del sistema cambian constantemente debido a la extracción del gas liberado. Simultáneamente a la liberación diferencial se determina la viscosidad del petróleo saturado.

El proceso de liberación diferencial consiste en hacer abatimientos de presión para formar una fase gaseosa, la cual se extrae a presión constante y se determina la presión de saturación en cada etapa.

En la Fig. N° 1.10, se ilustra el proceso de liberación diferencial.

En (a), la muestra se encuentra arriba de la presión de saturación.

En (b), se ha llegado a la presión de saturación después de una serie de abatimientos de presión en las que se registra presión y vo-

lumen apareciendo la primera burbuja de gas.

En (c), se forma una capa de gas. En (d), se efectúa la extracción del gas a presión constante por la válvula de la celda determinamos el volumen de gas extraído a partir de la diferencia de volúmenes al iniciar y terminar la extracción, medido a la presión de extracción y temperatura del yacimiento.

En (e), la presión del nuevo sistema se ha incrementado arriba de la presión de saturación para iniciar la siguiente etapa.

En esta forma se continúa hasta obtener un sistema con una presión de saturación de 50 Lpc.

La Última extracción de gas se hace desplazando el émbolo totalmente y sacando el gas a la presión atmosférica.

El gas extraído en cada etapa se mide en un gasómetro y se almacena en un balón para su análisis cromatográfico. Antes de almacenar el gas se toma muestras para determinar su gravedad específica.

El petróleo residual en la celda se represiona para obtener su relación presión-volumen. Luego esta misma operación se repite a temperatura ambiente.

Una serie infinita de liberaciones instantáneas es equivalente a una verdadera liberación diferencial . De los parámetros aportados por el proceso antes descrito son :

- Coeficiente de expansión térmica del petróleo residual.
- Compresibilidad del petróleo residual.
- Gravedad específica del gas.
- Factor de volumen del petróleo.
- Relación gas disuelto-petróleo
- Densidad del petróleo saturado.
- Viscosidad del petróleo saturado.
- Factor de volumen del gas.

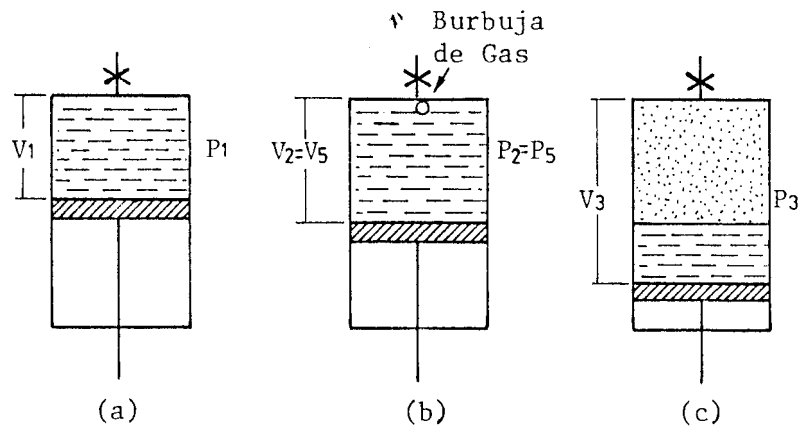


Fig N°1 = PROCESO DE LIBERACION INSTANTANEA.

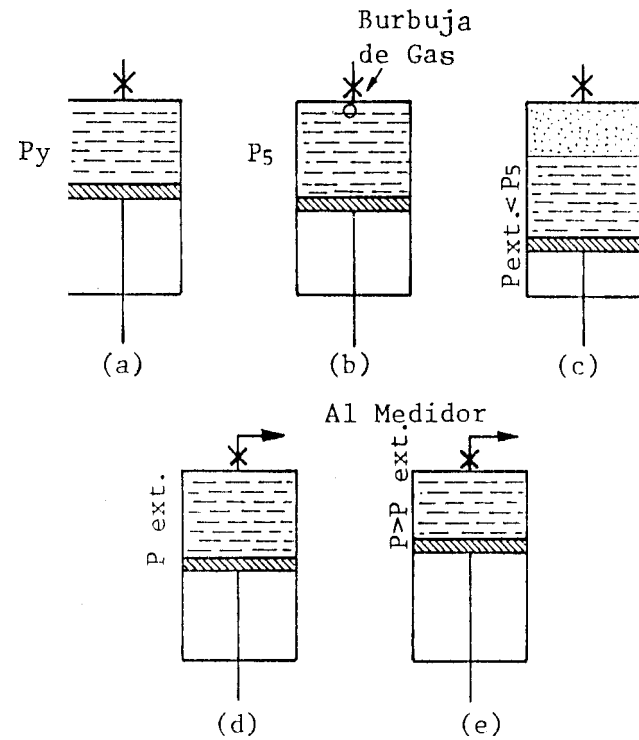


Fig N°1.10 PROCESO DE LIBERACION DIFERENCIAL.



BIBLIOTECA

## CAPITULO 11

### EQUIPOS DE LABORATORIO

#### 2.1 INSTALACION DEL EQUIPO: AREA, SEGURIDAD E HIGIENE.<sup>(15,17)</sup>

La disposición correcta del equipo en un Laboratorio da como resultado un orden para ejecución de trabajos con rapidez y calidad. El área disponible debe ser dividida de la siguiente forma: Sección de análisis de núcleos, sección de análisis de fluido y cromatografía, sección de estudios especiales.

En cada sección se debe tomar las disposiciones de seguridad proporcionada por la ASME (American Society of Mechanical Engineers), en especial el titulado "Boiler and pressure vessel code" que está relacionado con el diseño, construcción, inspección e instalalación de los recipientes de presión, donde se estipulan estos factores de seguridad entre otros.

- a) Todos los componentes deben asegurarse a una base firme. Las mangueras y las tuberías deben apoyarse firmemente y fijarse sus extremos.
- b) Para prolongar la vida de servicio del equipo, se debe contemplar, colocación de un forro o sistemas de protección catódica debido a corrosión, erosión o acción galvánica por metales disímiles o bien por abrasión mecánica.
- c) Deben proveerse de una ventilación y protección adecuadas para reducir a un mínimo la exposición al



personal o la propiedad si se descarga accidentalmente el contenido del sistema presurizado.

- d) Generalmente se requieren monitores de gases para lugares cerrados o lugares que contienen grandes volúmenes, si existe una posibilidad de que una fuga del sistema pudiera llegar a los límites permiribles de seguridad. En este laboratorio se usa materiales tóxicos como el mercurio, debiendo disponerse de aparatos de protección respiratoria autocontenidos en lugares accesibles.
- e) Deben evaluarse los sistemas de protección contra incendios para determinar la capacidad que éstos tienen para un control rápido. Los sistemas de rociadores automáticos son efectivos para enfriar los equipos que estén expuestos a los fuegos de la clase B que son los que ocurren con mezclas de vapor-aire sobre superficie de líquidos inflamables, por ejemplo, la gasolina y diluyentes.
- f) Para una operación segura se necesita un entrenamiento adecuado de todo el personal que trabaje con el sistema.

g) Las válvulas requieren un mantenimiento mayor que el resto de cualquier sistema de alta presión. Es probable que la empaquetadura de la válvula requiera un reemplazo periódico para reducir a un mínimo la posibilidad de fugas.

En el manejo las personas que trabajan con mercurio deben tener cuidado de no guardar ni comer alimentos en áreas donde se trabaja o se almacena mercurio. Tampoco se debe fumar.

Es importante el aseo y frecuentemente se deben lavar las manos y la cara, lo mismo que un baño después del trabajo. Los pisos de lugares donde se usa mercurio, deben ser de material pulido, que pueda lavarse y mantenerse limpio.

El mercurio en forma líquida puede accidentalmente ser llevado a casa, en los bolsillos, en el dobléz del pantalón y demás partes de la ropa.

Se recomienda finalmente ropa protectora para evitar contacto con la piel y un aparato de respiración para evitar inhalaciones.

## 2.2 BOMBA DE DESPLAZAMIENTO VOLUMETRICO. <sup>(12)</sup>

La bomba de desplazamiento volumétrico permite efectura dos funciones: las variaciones de presión en la celda medida por inyección o extracción de mercurio y por otra parte medir los volúmenes que son inyectados o extraídos.

El método más exacto de utilizar la bomba consiste en hacer todas las lecturas a la misma presión, lo que permite eliminar la necesidad de calibrar la bomba y el manómetro para las variaciones de presión y el error proveniente de la carrera del pistón, lo que hace que los cálculos sean más simples de realizar.

Supongamos que queremos inyectar un determinado volumen de mercurio en la celda. Se hace una lectura inicial a una presión prefijada denominada presión de calibración, la que se puede controlar por una balanza de pesos muertos o indicador de presión diferencial; en caso de análisis de sistemas líquidos se aíslan estos instrumentos para controlar sólo ~~con~~ manómetros, pero en caso de sistemas de gas es importante controlar constantemente la presión con precisión.



Manteniendo constante la presión de calibración, se va inyectando mercurio en la celda y cuando se alcanza el volumen prefijado se efectúa la lectura final.

Ruska diseñó el uso de un pistón de un diámetro controlado, el cual es forzado a entrar en una cámara llena de líquido por medio de un tornillo medidor. El volumen desplazado por medio del movimiento del pistón está expresado en una escala marcada en centímetros cúbicos y en un dial con subdivisiones apropiadas.

Las bombas están disponibles para operación manual, con motor, motor de velocidad variable y motor con engranajes de transmisión. Actualmente se incluyen: camisas de calentamiento, manómetros, doble cilindro y equipo de operación automática.

Las especificaciones de la bomba que posee la Facultad de IGMP son :

- Modelo N° 2250 2 bombas
- Presión de Operación 8000 Lpc
- Volumen = 250 cc
- Resolución Dial 0.001 cc Escala 1 cc
- Base montada en hierro colado para instalaciones en banco.

2.2.1 PRECAUCIONES



- a) No permitir que entre aire, aceite, gas o cualquier otro fluido extraño en la bomba.
- b) Cerrar las válvulas antes de desplazar la bomba dentro del laboratorio.
- c) Mantener todas las válvulas cerradas cuando la bomba está temporalmente en reposo.
- d) Calibrar periódicamente el manómetro de la bomba con la balanza de pesos muertos.
- e) Cuando la bomba volumétrica no está a la misma altura que la celda de medición, la presión leída en el manómetro es diferente a la presión en la celda. Una columna de mercurio de 10 cm. ejerce una presión de  $0.14 \text{ Kg/cm}^2$ , la presión de la celda con respecto a la bomba puede provocar diferencias de presión bastante sensibles que habrá que tener en cuenta y hacer correcciones apropiadas.
- fj Cuando la presión en la bomba es diferente a la presión exterior, abrir las válvulas muy lentamente a fin de evitar toda sacudida de la aguja del manómetro.

- g) La inercia del sistema provoca pequeños retrasos en el equilibrio del manómetro; cuando la presión varía, hay que esperar siempre que el equilibrio se establezca antes de efectuar las lecturas de presión.
- h) Utilizar mercurio limpio en la bomba y cuidar de no usar para limpiarla con líquidos corrosivos o ácidos que podrían deteriorar el tubo de bourdeón del manómetro.

### 2.2.2 INTERPRETACION DE LAS MEDIDAS EN VOLUMEN.

La bomba permite medir volúmenes de mercurio a la presión de calibración y temperatura de la bomba.

La presión y la temperatura en la celda son diferentes a las condiciones de la bomba, es necesario entonces tener en cuenta la expansión térmica y la compresibilidad del mercurio para deducir el verdadero valor de las variaciones de volumen en la celda a partir de las indicaciones de volumen leídas en la bomba.

Tanto el factor de compresibilidad y el volumen relativo del mercurio a diferentes temperaturas y presiones se encuentran explicados en el anexo A y conocidos de manera precisa como se puede ver en las Tablas 11 y 111.

Supóngase que tenemos un volumen 1 de mercurio medido a  $P_1$  y  $T_1$ , lo introducimos a la celda que tiene una presión  $P$ , y  $T$ , se desea conocer el volumen a estas condiciones tal como se puede observar en un diagrama de fases presión-temperatura (Fig. N° 2.1).

Las correcciones se harán utilizando dos procesos estudiados debido a que no existe una ecuación de la curva C.

La expansión isotérmica de  $V_1$  a partir de  $P_1$  hasta la presión atmosférica resulta el volumen  $V'$ .

$$V' = V_1 (1 + \text{Chg } T_1 * P_1) \quad (1)$$

La expansión térmica de  $V'$  a la presión atmosférica a partir de  $T_1$  hasta  $T$ , resulta el volumen  $V''$ .

$$V'' = V' \frac{\epsilon t_2}{\epsilon t_1} = V_1 (1 + \text{Chg } T_1 * P_1) \frac{\epsilon t_2}{\epsilon t_1} \quad (2)$$

La compresión isotérmica de T, a partir de la presión atmosférica hasta  $P_2$  da  $V_2$ .

$$V_2 = V_1 (1 - \text{Chg } T_2 * P_2) \quad (3)$$

Reemplazando las ecuaciones (2) en (3) da finalmente :

$$V_2 = V_1 (1 + \text{Chg } T_1 * P_1) \frac{\epsilon t_2}{\epsilon t_1} (1 - \text{Chg } T_2 * P_2)$$

Donde se designa a :

$V_1$  : Volumen de una cierta masa de mercurio a  $P_1$  y  $T_1$ .

$V_2$  : Volumen de una cierta masa de mercurio a  $P_2$  y  $T_2$ .

$\text{Chg } T_1$  : Compresibilidad del mercurio a  $T_1$ .

$\text{Chg } T_2$  : compresibilidad del mercurio a  $T_2$ .

$\epsilon t_1$  : Volumen relativo del mercurio a  $T_1$ .

$\epsilon t_2$  : Volumen relativo del mercurio a  $T_2$ .

La ecuación final tiene sus variantes, como por ejemplo si  $P_1 = P$ , la ecuación final será :

$$V_2 = V_1 (1 - P (\text{Chg } T_2 - \text{Chg } T_1)) \frac{\epsilon t_2}{\epsilon t_1}$$

Si se mantiene constante la temperatura se tiene que :



$(\epsilon t_2 / \epsilon t_1) = 1$  y  $\text{Chg } T_1 = \text{Chg } T$ , la fórmula equivalente sería :

$$V_2 = V_1 (1 + \text{Chg}T * P_1) (1 - \text{Chg}T * P_2)$$

$$V_2 = V, (1 - \text{Chg}T * P_2 + \text{Chg}T * P_1 - \text{Chg}T^2 * P_1 * P_2)$$

El término  $\text{Chg}T^2 * P_1 * P_2$ , es despreciable en la gama de presiones en que se trabaja, de donde tenemos :

$$V_2 = V, \{1 + \text{Chg}T (P_1 - P_2)\}$$

Como la lectura de la bomba se realiza a la presión de calibración, los términos

$(1 + \text{Chg}T_1 * P_1)$  y  $(1/\epsilon t_1)$  DE LA fórmula pueden incorporarse al factor  $F_{cb}$  de la bomba, dando un factor  $F_{cb}'$  que permite convertir las medidas efectuadas en la bomba en centímetros cúbicos a condiciones normales de presión y/o temperatura (14.7 Lpc y 60°F).

$$F_{cb}' = F_{cb} (1 + \text{Chg}T_1 * P_1) (1/\epsilon t_1)$$

El volumen corregido a una presión y temperatura dada es entonces :

$$V_2 = V_{\text{leído}} * \epsilon t_2 (1 - \text{Chg}T_2 * P_2) (1/\epsilon t_1)$$

### 2.3 CELDA P.V.T. (19)

La celda donde se efectúa el estudio presión-volú-

men-temperatura, consiste básicamente de un cilindro hueco de acero inoxidable aproximadamente de  $600 \text{ cm}^3$  de capacidad, tiene provista una ventana para la observación visual de la presión de burbujeo por lo que el proceso de liberación diferencial que consiste en la extracción del gas se lo puede realizar manteniendo el tamaño de la burbuja constante.

Está diseñada para soportar fuertes cambios de presión y temperatura ( $10000 \text{ Lpc}$  y  $350^\circ\text{F}$ ), la celda tiene una ventana de vidrio con una apertura de  $4.4 \text{ cm}$  de longitud y  $0.64 \text{ cm}$  de ancho, para observar las interfaces gas-petróleo-mercurio.

La ventana de vidrio tiene un espesor aproximado de  $2.54 \text{ cm}$  y está alojada en el cuerpo principal asentada con sellos y ajustadas por tornillos interiores y exteriores como se puede ver en la Fig. N° 2.2.

La celda puede ser empujada para observaciones más directas usando la palanca de mano o agitador localizada en el panel de controles, ver Fig. N° 2.3.

La válvula de entrada a la celda se encuentra en la parte superior unida con un tubo de acero inoxidable de diámetro de  $0.32 \text{ cm}$  que toma la forma de un solenoide antes de entrar a conectar la celda.

La celda está equipada con dos brazos para soportar la en su baño y puede girar ampliamente sin rozamiento.

La válvula de salida de la celda es de tipo aguja que permite el seccionamiento apropiado para controlar la formación de espumas y prevenir la remoción de alguna parte de la fase líquida con el gas de solución.

La localización de una salida visible en la parte superior de la celda permite la rápida remoción de todo el gas dejando una fracción muy pequeña de un centímetro cúbico de gas sin el peligro de que el equilibrio gas-líquido se altere por la salida de líquido de la celda.

Cuando se tiene celda visual se debe tener precaución de no ver directamente a la ventana si la celda está presurizada a 15000 Lpcm y 250°F.

El control de la temperatura se realiza a través de un termostato ubicado en el panel de controles y mediante el uso de baño de aceite, o en su efecto se puede utilizar una camisa de calentamiento como se emplea en muchos laboratorios, como los que tiene CEPE actualmente.

Dentro de las especificaciones de la celda tenemos:

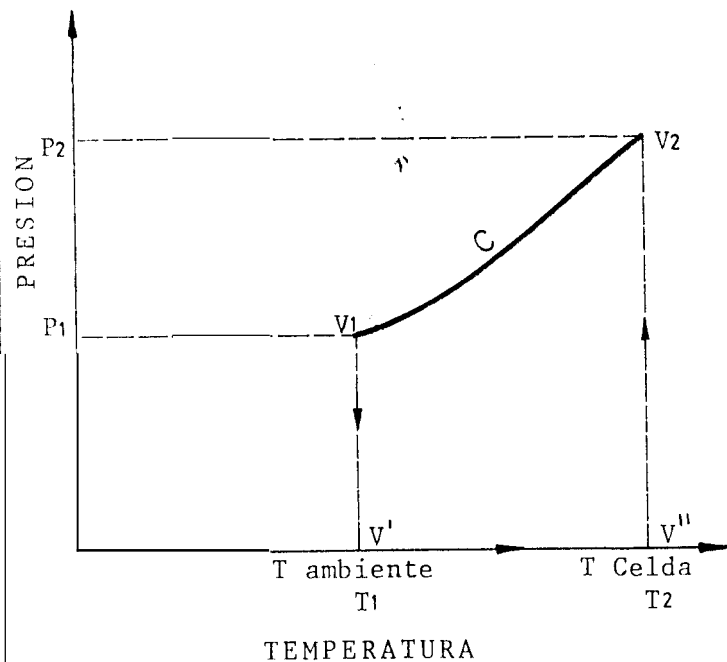


Fig N° 2.1 DIAGRAMA PRESION TEMPERATURA.

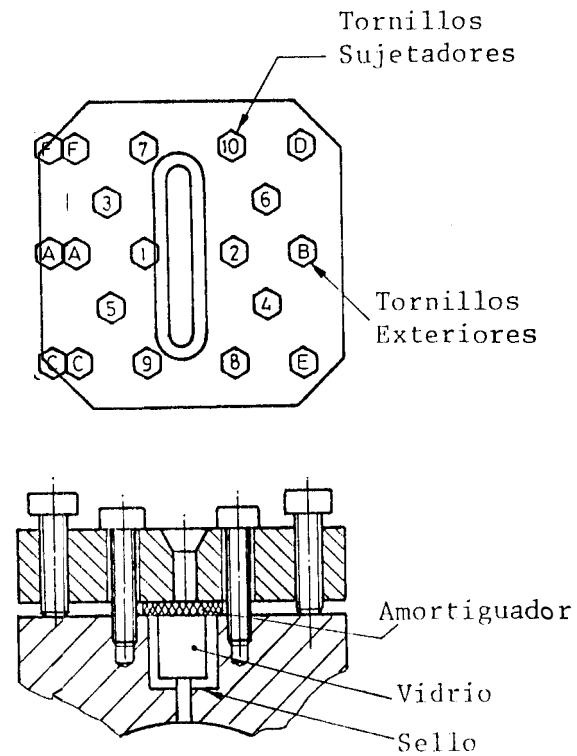
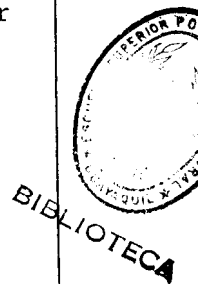


Fig N° 2.2 VISTA FRONTAL DE LA VENTANA ARMADA.



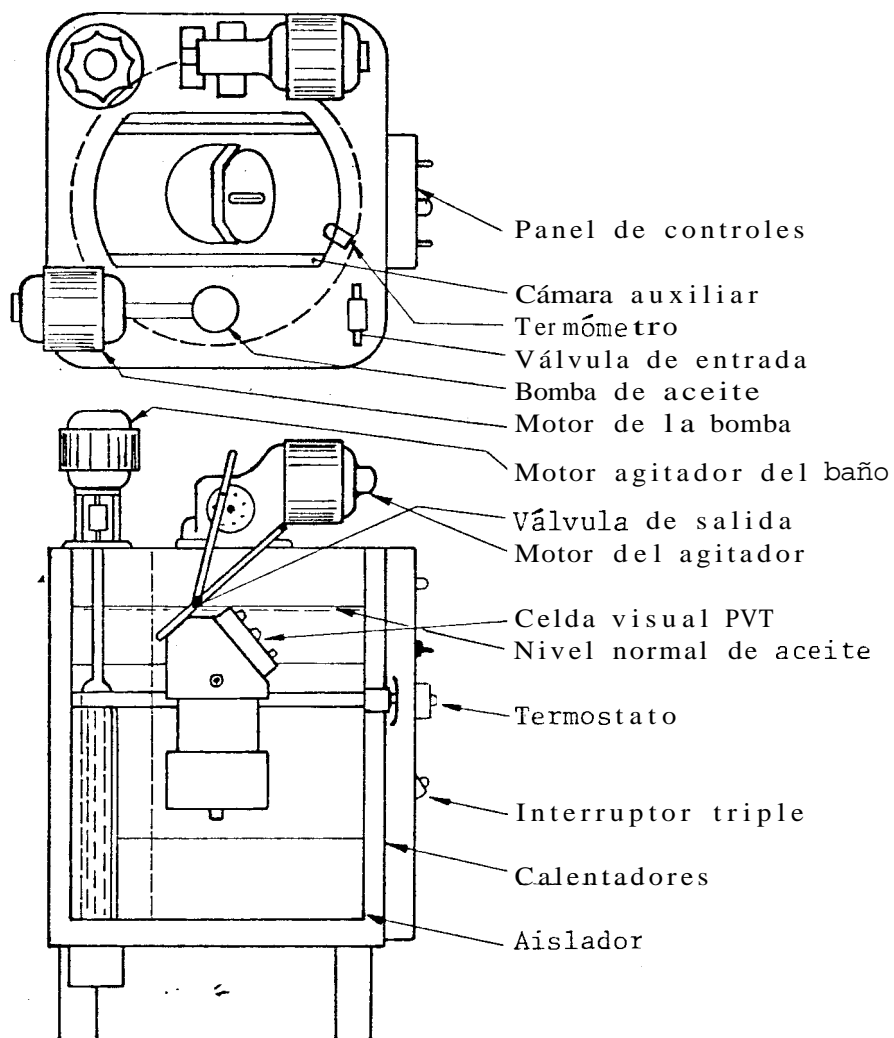


Fig N<sup>o</sup> 2.3 CELDA PVT VISUAL EN BAÑO DE ACEITE.



La celda está equipada con dos brazos para soportar la en su baño y puede girar ampliamente sin razonamiento.

La válvula de salida de la celda es de tipo aguja que permite el seccionamiento apropiado para controlar el espumamiento y prevenir la remoción de alguna parte de la fase líquida con el gas de solución.

La localización de una salida visible en la parte superior de la celda permite la rápida remoción de todo el gas dejando una fracción muy pequeña de un centímetro cúbico de gas sin el peligro de que el equilibrio gas-líquido se altere por la salida de líquido de la celda.

Cuando se tiene celda visual se debe tener precaución de no ver directamente a la ventana si la celda está presurizada a 1500 Lpcm y 250°F.

El control de la temperatura se realiza con un termostato ubicado en el panel de controles y mediante el uso de baño de aceite, o en su efecto se puede utilizar una camisa de calentamiento como se emplea en muchos laboratorios, como los que tiene CEPE.

Dentro de las especificaciones de la celda tenemos:

- Diseño de la celda #2315.



- Volumen de la celda no calibrado 600 cm<sup>3</sup>.
- Presión máxima de trabajo 10,000 Lpcm a temperatura de 150°F.
- Peso 70 libras.
- Diámetro interno 18 pulgadas.
- Rango de temperaturas de 80-350°F.

2.3.1 VENTANA DE VIDRIO PARA OBSERVACION VISUAL DEL PROCESO DE LIBERACION.

Durante mucho tiempo las ventanas de vidrio han sido usadas para la determinación experimental del comportamiento de petróleo bajo condiciones presión, volumen, y temperatura. Estas ventanas permiten una determinación visual de la interfase entre gas-petróleo-mercurio dentro de la celda obtendremos una de terminación más precisa del comportamiento de la muestra de análisis.

La ventana de vidrio de alta presión debe ser instalada con el mayor cuidado para que resista la presión de diseño. Un buen entendimiento de los problemas involucrados en la conexión con su montura es necesario para una exitosa instalación. El uso de las ventanas de vidrio, a causa de sus característi-



cas físicas que es de un material de construcción confiable para altas presiones y que un descuido por inexperiencia en el manejo del equipo puede resultar peligroso.

RUSKA ha diseñado y producido durante muchos años equipos con ventanas para la observación visual de celdas. Durante este período se han diseñado varios métodos de montaje y sellado dando como resultado de esta experiencia se ha establecido el más ventajoso diseño de montaje y el mantenimiento de estas ventanas. Sin embargo existen distintos métodos de sellado de ventanas de vidrio contra la presión interna de la celda para ser usada en la conexión con su montura, cada uno de los métodos con su particular ventajas y desventajas.

El diseño consiste en que la ventana con la moldura esté bajo presiones uniformes y no bajo esfuerzos localizados.

Las ventanas de vidrio son encerradas en una hendidura en el cuerpo de la celda y cubierta por una armadura que reduce el riesgo en el estallido de grandes piezas de vidrio en



caso de ruptura. La armadura que retiene el vidrio en su sitio debe ser segura, de tal manera que no se distorciona cuando los tornillos son apretados y de esta manera ejerzan una fuerza sobre el borde del cuerpo de la ventana de vidrio.

Una amortiguación debe ser provista entre la armadura de acero de la ventana y el vidrio. El vidrio no deberá tocar los lados del orificio de la ventana. La base de asentamiento debe ser lisa y libre de rayaduras de herramientas, esta parte debe tener espesor con suficiente material para que no pueda ser de formado por la carga de presión ejercida sobre el vidrio cuya resistencia le ha sido conferida por un tratamiento especial después que ha sido clasificada de varios vidrios es peciales de alta resistencia.

La mayor parte de las características indica das son cuestión de diseño, material, selección y fabricación. El éxito del armado de la ventana es cuestión de técnica y experiencia. En la Fig. N° 2.2, se muestra una típica sección y vista en planta de la ventaa

na armada. La armadura es asegurada por un grupo de tornillos (numerados del 1 al 10) y montados sobre su borde exterior están un grupo de tornillos exteriores reguladores (de la letra A hasta la F). Con el ajuste de estos tornillos siguiendo paso a paso un orden dado, el vidrio será ajustada uniformemente con una calidad requerida para este trabajo.

Cualquier grieta o canal debe ser totalmente evitado para un análisis P.V.T. exitoso. Así, un buen sello significaría para la ventana estar siempre libre de grietas o canales, el cual debe ser seleccionado de tal manera que cualquier deformación o cambio de volumen debido al cambio de presión en la celda será evitado, o por lo menos reducido al mínimo.

Los sellos ensambladores, que son fácilmente aplicados, evitarán cualquier cambio de volumen y debido a los ataques químicos que soportan. Muchos materiales de sellos, eventualmente el más resistente es el elastómero sintético al petróleo, puede ser atacado por

### 2.3.2 TIPOS DE SELLOS <sup>(19)</sup>

- a) SELLOS DE ELASTOMERO.- Uno de los sellos más ampliamente usado y modernos son los sellos tipo "anillo". Si un sello tipo "anillo" fuera usado en una ventana de vi  
drio, se experimentaría muy pocas dificul  
tades. Por ejemplo un mal acomodamiento del sello en la celda ocasionaría debido al cambio de temperatura, una variación en la lectura del volumen en un cuarto de centímetro cúbico aproximadamente.
- b) SELLO ARO DE SECCION CUADRADA. - Un mejo-  
ramiento del sello tipo "anillo" es el se  
llo aro de sección cuadrada. Este actúa  
similarmente al sello "anillo", pero a  
causa de su diferente sección transversal,  
reduce el error causado por el acomoda-  
miento del sello "anillo". Un sello aro  
de sección cuadrada es mostrado en la Fig.  
Nº 2.4. Este sello consiste de dos rete-  
nedores de sección cuadrada de acero colo  
cados el uno junto al otro y dimensionado  
de tal manera que el espacio entre los re  
tenedores sea ocupado por el sello aro de  
sección cuadrada.

Este sello es fácilmente colocado, y se requiere poca torsión para el ajuste de la ventana. Sin embargo, el operador debe saber que algo de fluido quedará atrapado cuando se use este sello.

En caso de reemplazarlo, es necesario solamente reemplazar el sello de sección cuadrada. Los anillos retenedores de acero son usados nuevamente, al menos que ellos hayan sufrido accidentalmente un daño. Un torque de 5 Lb-pie es recomendado para los tornillos reguladores externos y un torque de 10 Lb-pie para los tornillos ajustadores internos.

- c) SELLO COMPUESTO.- Un sello compuesto es más satisfactorio comparado con los anteriores. Es un sello constituido por un plato delgado de acero en un cuadrado interior en el cual ha sido insertado un elastómero estudio vulcanizado resistente al ataque químico con sección trapezoidal (Fig. N<sup>o</sup> 2.5). Tiene propiedades tanto de sello contra la presión interior de la celda, pero no necesariamente sellante si la celda es evacuada. El acero debe ser

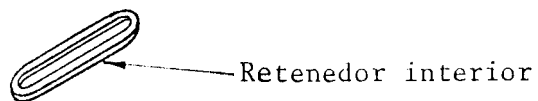
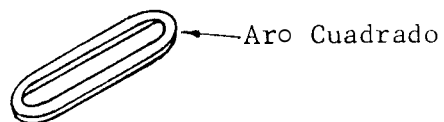
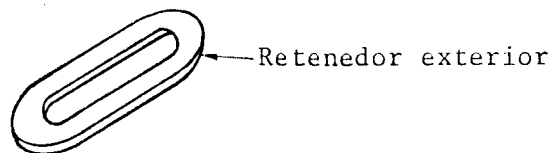
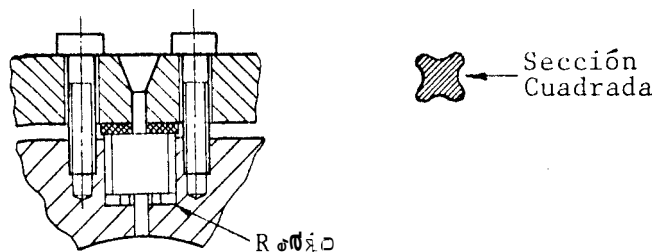
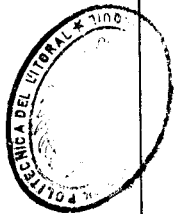


Fig N° 2.4 SELLO ARO DE SECCION CUADRADA.

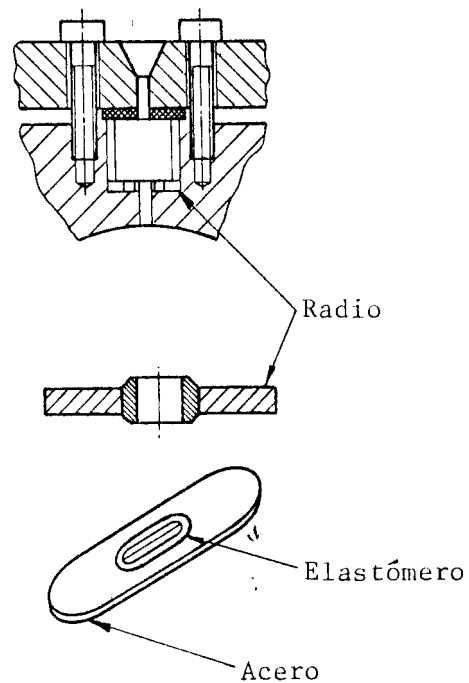


Fig N° 2.5 SELLO COMPUESTO.

limpiado con un chorro de arena de madera que el elastómero pueda ser vulcanizado en el asentamiento de la ventana.

Estas marcas son inocuas, con tal que ellas no se extiendan dentro del área del sellado del elastómero insertado.

El sello compuesto requiere un torque de 5 Lb-pie para los tornillos reguladores externos y 15 Lb-pie para los tornillos ajustadores internos.

Cualquier método de sellado en el cual se use goma sintética o elastómero resistente al ataque químico, están sujetos siempre al ataque con el tiempo. Su vida depende sobretodo de la composición química de los fluídos en el análisis, la presión y la temperatura de operación.

- d) SELLO DE **RESINA FENOLICA**. - El más duradero y el mejor sello de volumen constante es el obtenido por una junta de lienzo reforzado con una resina fenólica, que es fabricada bajo los nombres comerciales de

BAKELITA, FORMICA, TEXOLINE, MICARTA, etc. Este sello es siempre el más resistente al ataque químico. Este sello fue usado en las celdas construídas en estos últimos veinte años. El sello consiste de una junta de 0.159 cm de espesor ajustado con toda precisión en el asentamiento de la ventana de la celda. Debe tomarse el mayor cuidado en el tallado y ajustado de este sello, de tal manera que su superficie pulida no esté dañada, por ejemplo con rayaduras, fisuras o dobladas.

La elevada temperatura y presión de montaje a la cual la junta está sujeta, no producirá efectos significativos en su compresibilidad y deformación. Su resina sellará la mayor parte de las pequeñas marcas, rayas en el orificio de la ventana y sobre el vidrio.

El material usado para estas juntas deben ser cuidadosamente seleccionado. Pueden usarse 2 láminas de tefi $\acute{o}$ n de 50 micras (0.002 pulgadas) de espesor, los cuales son colocadas sobre cada lado de la resina (Fig. 2.6).

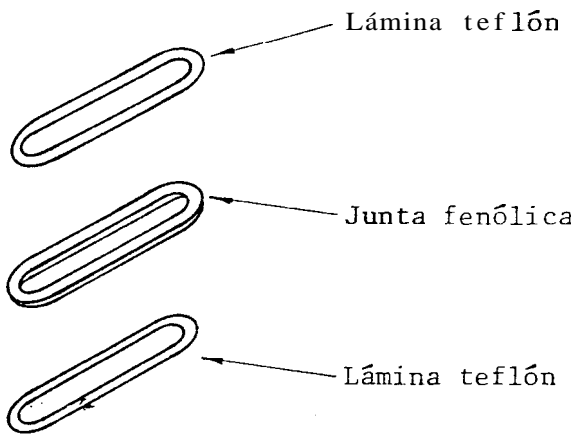
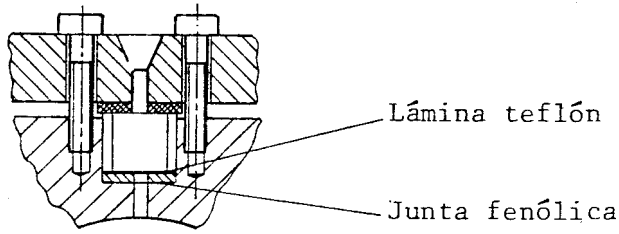
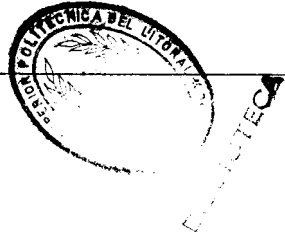


Fig N°2.6 SELLO RESINA FENOLICA.



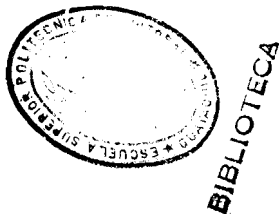
Cuando la colocación de la resina fenólica o la resina fenólica-teflón es usada, "un torque de 10 Lb-pie sería usada por los tornillos reguladores y 50 Lb-pie para los tornillos ajustadores".<sup>(10)</sup>

Después que la ventana ha sido montada, la celda deberá ser calentada en su baño o en su horno a una temperatura de 200°F aproximadamente por una hora.

Los tornillos ajustadores serían entonces reapretados con un torque de una 50 Lb-pie.

### 2.3.3 INSTALACION DE LA VENTANA <sup>(10)</sup>

Un cambio en la ventana armada consiste en cambiar : la ventana de vidrio tratada térmicamente, el amortiguador fenólico y el sello armado de acuerdo con la selección adecuada. Algunos sellos armados, en particular, el sello de resina fenólica, son provistos sobre medida y debe ser ajustado dentro del hueco de la ventana en la celda. Su borde exterior e interior debe ser tallados o redondeados de manera que ajusten con el radio en el asentamiento de la ventana. Se debe tener



cuidado de no rayar la superficie de la resi  
na o del sello fenólico o dañar el borde del  
elastómero del sello compuesto. El sello se  
apoyará bien ajustado contra el lado exte-  
rior de la pared del orificio de manera que  
no pueda expandirse debido a la presión en  
la celda.

Los filetes de ambos juegos de tornillos, a-  
justadores y reguladores (interiores y exte-  
riores) deben ser lubricados para que los  
tornillos puedan girar libremente y la lectur  
a del torque sea una indicación real de la  
tensión aplicada sobre los tornillos. Des-  
pués que la ventana ha sido limpiada junto a  
toda traza de materia extraña eliminada del  
orificio, el sello es colocado en el orifi-  
cio, siguiendo la ventana de vidrio y el a-  
mortiguador fenólico. La ventana de vidrio  
debe ser centrada de manera que no se apoye  
sobre los lados del orificio.

Si se desea, papel o lámina de cartulina pued  
e ser usada para asegurar su permanente cent  
rado. La armadura de la ventana es enton-  
ces colocada al tope del amortiguador. Los  
tornillos exteriores de la tapa A y E descann

san levantados de manera que ellos no tocan el cuerpo de la celda.

Un control de la distancia entre la armadura de la ventana y el cuerpo de la celda debe efectuarse, utilizando un palpador, una tolerancia aceptable de 0.050 mm es aceptable.

Si este espacio es más grande sobre uno de los lados que el otro, los tornillos deben ser cuidadosamente ajustados y reapretados hasta que las distancias sean las mismas.

Los tornillos interiores de la tapa son apretados uniformemente con un torque de 5 Lb-pie en el orden numerado como se muestra en la Fig. N<sup>o</sup> 2.2. El ancho del espacio se deberá comprobar nuevamente, los tornillos exteriores serían entonces apretados a 5 Lb-pie en el orden alfabético, apoyándose contra el cuerpo de la celda y evitando la deformación de la armadura de la ventana. Los tornillos interiores son entonces apretados nuevamente en su orden numérico hasta 10 Lb-pie; los interiores a 15 Lb-pie.. etc., hasta el torque requerido de cada grupo de tornillos sea alcanzado, para un tipo de sellos específico.

Es prudente comprobar la distancia entre la armadura y la celda después de cada ajuste. La cara de la armadura podrá ser insignifican- temente cóncava, pero nunca ser convexa.

#### 2.3.4 PRUEBA DE INSTALACION<sup>(10)</sup>

Una vez instalada la ventana procedemos a realizar una prueba en frío (es decir a temperatura ambiente) para verificar utilizando un fluido no explosivo para llenar la celda; por ejemplo VARSOL.

Después que hemos realizado vacío para mover las trazas de aire posibles, aplicamos presión a la celda lentamente con una bomba de desplazamiento volumétrico manteniendo la presión por varios minutos a 100 Lpc, e ir aumentando hasta la presión máxima de trabajo. Durante esta prueba la celda puede colocarse en una mesa con la ventana lejos del operador, preferible hacia una pared y cubierta con una lona gruesa. Después que la celda está presionada por unos minutos, la presión es reducida a la presión atmosférica y los tornillos numerados son comprobados su torque original, en caso de no tener el torque requerido se vuelve a ejercer torque a

los tornillos. La celda ahora es colocada en su baño donde la presión de ensayo es repetida a elevada temperatura y se comprueba que los tornillos tengan su torque original.

Los tornillos puede ser apretados cuando la celda está a elevadas temperaturas, pero nunca intente realizarlo cuando la celda está bajo presión.

Cuando tenemos una celda de observación visual, el sello del elastómero compuesto y el sello de resina fenólica son útiles para la celda. El sello aro de sección cuadrada no puede utilizarse para la celda por su inadecuado tamaño como se explicó en 2.3.2 (b).

Debemos tener en cuenta para el mantenimiento de las ventanas de las celdas la siguiente observación: El cuerpo de vidrio es enviado por la RUSKA a fabricación y el fabricante lo hace con una muestra-orden y a causa de sus variaciones en el espesor, tamaño del vidrio, el hueco de la celda es fabricado considerablemente sobredimensionado, pero es posible y se da en muchos casos que se devuelvan remesas de ventanas al fabricante, por no ajustarse al hueco de la celda.

Ninguna tentativa sería hecha para ajustar el sobredimensionamiento de la ventana en su hueco, debido al trabajo mecanizado realizado sobre la ventana y después de su tratamiento térmico anularán tal efecto, la ventana sería devuelta para un crédito total.

Las rayaduras y marcas en el fondo del hueco de la ventana podrían ser solucionadas por rectificado o pulido del hueco con papel lija. Haciendo que el movimiento del pulido siga la forma del rayado, de manera que las rayaduras transversales al área de sellado sean evitadas.

La RUSKA afirma que las ventanas para observación visual de las celdas PVT han dado satisfactorio uso en muchos laboratorios donde han estado a presiones mayores de 12.000 lpcm y 350°F de temperatura.

#### 2.3.5 BAÑO DE TEMPERATURA CONSTANTE<sup>(11)</sup>

- a) GENERALIDADES.- El baño RUSKA para la celda visual tiene un diámetro interno de 45.72 cm. El baño tiene una capacidad de 18 galones y un consumo de corriente má-

ximo de 3700 vatios. Además un ducto que contiene los elementos de calentamiento y el agitador, está equipada con una cámara auxiliar. Una bomba montada en la pared es usada para elevar o bajar el nivel de aceite en el baño así dejando al descubierto la ventana de la celda completamente en el aceite cuando la temperatura de equilibrio es alcanzada.

- b) INSTALACION.- El baño consiste de un aceite de temperatura controlada con sistema circulante. El baño no debe ser operado sin circulación de aceite para evitar prevenir sobrecalentamiento de los elementos del calentador. Por esta razón, el conmutador principal está conectado con el motor y el agitador. El uso de un interruptor triple podría inoperar la unidad de calentamiento, sin embargo el agitador funcionará tan pronto el interruptor es encendido.

Es indispensable que para la instalación se tenga una base plana y que descansa sobre madera para limpieza fácil de la par-

te inferior, en su base hay 4 agujeros en cada esquina requiriéndose un espacio de 61 x 61 cm.

El baño debe estar conectado a una línea eléctrica respetando las correspondientes especificaciones indicadas sobre el panel de control y conexión a tierra, las conexiones son hechas sobre el conmutador principal.

Cuando la celda se sumerge en el baño está lista para realizar ensayos.

- c) OPERACION DEL BAÑO.- El baño es llenado con un aceite comercial muy resistente a la temperatura (SAE 30) con el conmutador principal es encendido, por lo que el motor del agitador entrará en operación y con el control del calor apagado. El calentamiento puede ser ahora operado. Para tener el baño rápidamente a una temperatura, el interruptor triple es puesto en "ALTO", y el termostato es encendido, así entra en operación el elemento controlador de calor. "ALTO" es usado únicamente para alcanzar la temperatura deseada.



Menor calor puede ser mantenido con el controlador de calor sólomente. Si más calor es necesario para mantener la temperatura, el interruptor triple puede ser girado a "BAJO" o "MEDIO". La luz piloto de termostato en el tope del panel indica cuando el controlador de calor está prendido. Después que el baño alcanzó la temperatura deseada como *es* observada en el termómetro, el termostato se apaga automáticamente. Si el interruptor triple es utilizado correctamente, la luz piloto se encendería y se apagaría periódicamente, manteniendo la temperatura del baño constante. Si la luz permanece apagada y la temperatura del baño elevándose contínuamente, significaría que el interruptor triple estará en posición correcta. Si la luz se enciende nuevamente el interruptor triple estará en una posición incorrecta.

En este caso, ajustes menores de temperatura son realizados con el uso del termostato, sólomente. Se debe realizar muchos ensayos para mantener una temperatura dada.

Si se requiere drenar el aceite se tiene un agujero en la parte inferior, útil para cambios de aceite que son realizados después de 3 ó 5 ensayos.

### 2.3.6 PANEL DE CONTROLES

El panel de controles es el encargado de ciertas funciones de la celda tales como: agitar la celda, subir o bajar el nivel de aceite, controlar la temperatura. Describiremos cada una de las partes numeradas, como se muestra en la Fig. N<sup>o</sup> 2.7.

- a) LUZ PILOTO.- Indica el funcionamiento del termostato.
- b) TERMOSTATO.- Controla la entrada de calor del sistema de calentamiento.
- c) NIVEL DE ACEITE.- Es un interruptor de triple posición, siendo la superior para elevar el nivel de aceite, la intermedia es neutra, la inferior es para bajarlo.
- d) AGITADOR.- Acciona el agitador.
- e) TERMOSTATO.- Escala graduada para establecer la temperatura deseada, cada divi-

sión es 1°F.

- f) INTERRUPTOR TRIPLE.- Proporciona velocidad de calentamiento al sistema dando calor, tiene 3 posiciones ALTO, BAJO y MEDIO.
- g) CONMUTADOR PRINCIPAL.- Proporciona la energía necesaria y acciona el agitador a la vez.

## 2.4 EQUIPO AUXILIAR

Los equipos e instrumentos para medir las propiedades de los fluídos de yacimiento deben ser perfectamente calibrados.

El equipo auxiliar en sus componentes varía de acuerdo a la característica de la muestra, diseños de estos equipos pueden verse en el manual instructivo de la RUSKA.

Los instrumentos que constituyen el equipo auxiliar más importante son: Viscosímetro de alta presión, Gasómetro, Bombas de vacío, cromatógrafo de gas, etc.



BIBLIOTECAS 75

#### 2.4.1 VISCOSIMETRO DE ALTA PRESION

Este aparato sirve para la determinación de la viscosidad de muestras de fondo o de superficie a altas presiones y temperaturas.

Es del tipo de rodamiento de bolilla, esencialmente consiste de un tubo de escurrimiento que se llena con el fluído al que se desea determinar la viscosidad; una bolilla de acero inoxidable de diámetro y densidad conocidos que cae por el tubo a través del fluído y un circuito electrónico que permite la determinación del tiempo que tarda la bolilla para viajar de un extremo a otro del tubo de escurrimiento.

Un novedoso diseño, utiliza un solenoide magnético para mantener la bolilla en la parte superior del tubo (posición de operación).

La bolilla no caerá hasta que no se interrumpa la corriente en el solenoide. Esta disposición hace que se elimine el error humano en la determinación del tiempo de caída de la bolilla, debido a que se pone en marcha el cronómetro, deteniéndose automáticamente cuando la bolilla hace contacto con el fondo.

El equipo consiste: el viscosímetro y la caja de control con el reloj.

El viscosímetro consiste de un tubo esmerilado sostenido por 2 soportes tipo araña, tiene su propia camisa de calefacción con lo que se consigue una operación del instrumento limpio, rápida y de mayor seguridad, 2 tornillos de regulación y un nivel de burbuja son provistos en la base del aparato.

Puede adoptar tres posiciones angulares (posición  $70^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $23^\circ$ ) que permite al operador escoger la inclinación para tener en los datos la exactitud requerida y obtener tiempos de caída apropiados.

Existen también un amplio rango de diámetros de bolillas que permiten cubrir un rango de viscosidades desde 0.01 cp a miles de cp.

La caja de control con el panel de instrumentos, contiene todo el equipo electrónico necesario para la operación. El viscosímetro y la caja de control están interconectados con un cable multifilar con sus correspondientes conectores.

La temperatura es obtenida por medio de una termocupla y un controlador pirométrico.

Todo lo concerniente a la operación y procedimiento de calibración no serán detallados en esta sección, para mayor detalles consúltese la Tesis de grado.<sup>(16)</sup>

#### 2.4.2 GASOMETROS

El gasómetro está diseñado para medidas volumétricas de precisión de gas. Consiste de un eje de álabes sumergida en agua bi-destilada y con un orificio por donde entra el gas que hace girar los álabes y está a su vez las manecillas que indican el volumen relativo de gas que fluye (véase Fig. N° 2.8), tiene además un orificio de salida de gas, un nivel que indicará si la presión de entrada del gas es la apropiada para determinar el volumen, un manómetro en "U" indicando cero que ayudará a mejorar las lecturas del gasómetro.

Tiene una capacidad de  $100,000 \text{ pies}^3$ , graduado en divisiones de  $0.01 \text{ pie}^3$  y por medio de un vernier puede aproximarse la lectura de

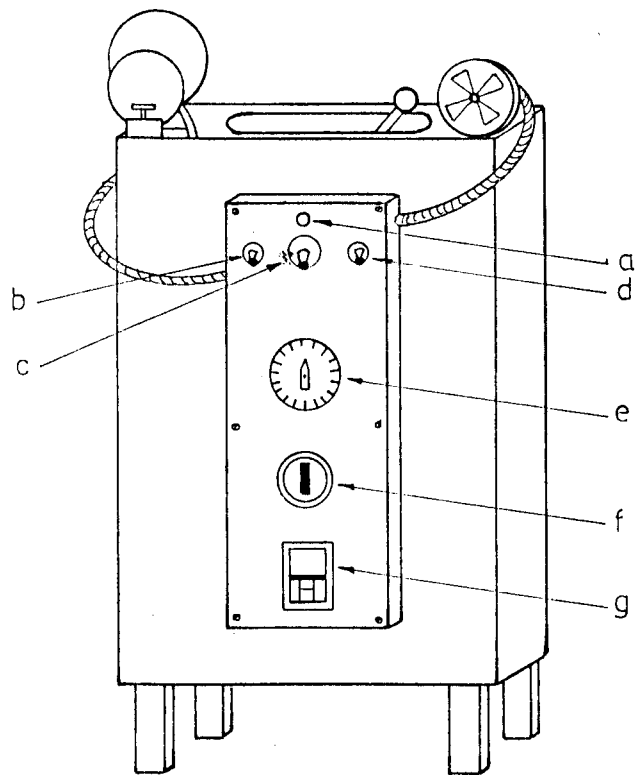


Fig N°2.7 VISTA FRONTAL DEL PANEL DE CONTROLES.

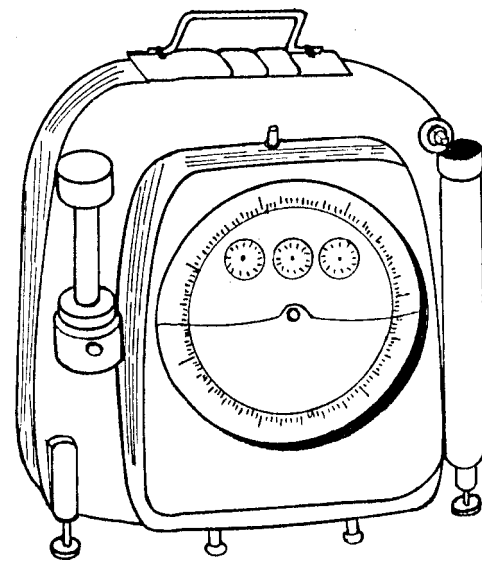
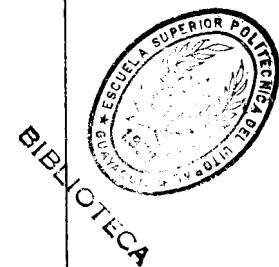


Fig N°2.8 GASOMETRO.



volumen a  $0.001 \text{ pie}^3$ .

Una mejor utilización del gasómetro consiste en mantener el nivel adecuado, si el nivel está por encima de lo normal la presión a la que entra el gas es muy alta, y si está por debajo la presión es muy baja.

Tiene tornillos ajustadores de nivel con su respectiva burbuja para nivelarlo, un termómetro para registrar la temperatura con que entra el gas.

#### 2.4.3 BOMBAS DE VACIO

Las bombas de vacío en el Laboratorio de la Facultad, son Marca Sargent-Welch emplea el siguiente mecanismo : un rotar concéntrico de 2 paletas y montadas excéntricamente en un anillo, ambos montados en serie con eje común y guiados a través de un acople directo a un motor. La unidad de bombeo y el motor están opuestamente ubicados, siendo cada parte removible e independiente de la otra.

Posee un nivel de aceite que debe ser controlado



lado después de 15 minutos de utilización.

Un filtro es usado cuando operamos con alto flujo de gas.

Uno de los problemas más comunes en las bombas es la contaminación de aceite causando una pérdida de eficiencia. Su causa es por la condensación de vapores que incrementan la presión de vapor reduciendo el vacío verdadero. Es necesario un venteo de estos vapores especialmente los vapores de agua, un cambio periódico de este aceite es necesario para tener mejor eficiencia del sistema. No debemos usar solventes para limpiar la bomba por ser difícilmente removible y tienen alta presión de vapor que no daría un buen vacío.

#### 2.4.4 CROMATOGRÁFO DE GAS, ETC.

Cromatografía es un método analítico de separación basado en las diferencias en los coeficientes de participación de sustancias distribuidas entre una fase estacionaria, normalmente con un gran área de contacto, y una fase móvil.

De acuerdo con las propiedades y estado físico

co de las fases que se manejen deberá escogerse la técnica apropiada.

El sistema cromatográfico está integrado por:

- a) Cilindro de gas
- b) Reguladores de flujo y presión
- c) Puerta de inyección
- d) Columna
- e) Detector
- f) Registrador
- g) Termostatos

BIBLIOTECA

\* Siendo los elementos fundamentales integrados por a, b, c, y d. Los componentes que se van a separar, son llevados a través de la columna, por un gas inerte (gas portador). Los componentes de la muestra se reparten entre el gas portador y un solvente líquido no volátil (fase estacionaria), el cual está soportado sobre un sólido inerte [soporte sólido). El solvente retarda selectivamente la migración de los componentes de la mezcla a través de la columna, de acuerdo a sus coeficientes de partición, hasta que recorrida cierta distancia, se forman en el gas portador bandas separadas, una por cada uno de

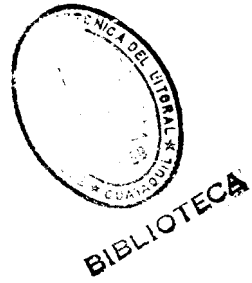
los componentes.

Las bandas salen de la columna en el gas portador y llegan al detector, el cual capta la presencia de cada componente y emite una señal eléctrica. Esta es llevada a un amplificador antes de ser transformada en señal gráfica en el registrador. Cada componente origina un pico, el conjunto de picos se les llama cromatograma.



## CAPITULO 111

### SISTEMA DE CALIBRACION DE EQUIPOS



#### 3.1 CALIBRACION DE MANOMETROS

La calibración de manómetros se la realiza usando el probador de peso muerto RUSKA que fue diseñado como un laboratorio para control de presiones.

Consiste de una pieza circular plana sobre el cual los pesos de acero inoxidable son colocados; la combinación del peso; del peso plano junto con el pistón constituyen el peso neto del medidor, cuando el peso neto es dividido por el área efectiva del pistón, el cociente es la mínima presión neta que el medidor es capaz de medir. La ecuación básica para calcular el peso neto es :

$$W = P A_0 (t=75^{\circ}\text{F}) (1 + C At) (1 + bP)$$

donde :

$P$  : presión de operación

$A_0(t=75^{\circ}\text{F})$  : área del pistón a cero Lpc y temperatura de referencia de  $75^{\circ}\text{F}$  como se indica en el informe del ensayo.

$C$  : Coeficiente de dilatación del acero.

$At$ : Diferencia de temperatura entre  $75^{\circ}\text{F}$  y la de trabajo.

b : Cambio fraccional en el área por unidad de cambio en la presión.

Este peso calculado debe ser reducido a unidad de masa para corrección por efecto de gravedad y flotabilidad.

La calibración con aceite se procede de la siguiente manera:

- a) Colocar los pesos deseados sobre la tabla del probador de peso muerto (ver descripción de correcciones y ejemplo de colocación de los pesos en los manuales de laboratorio).
- b) Abrir la válvula del medidor y del sistema.
- c) Cerrar la válvula del manómetro y del recipiente.
- d) Abrir la válvula en el conector del bloque del medidor.
- e) Bombear aceite hasta que éste salga del medidor y juntar las trazas a ser obtenidas.
- f) Bombear líquido hasta que el medidor flote en la línea media.
- g) Registrar el valor indicado de la traza de ensayo y la correspondiente presión del medidor de peso muerto. Registrar la temperatura y la corrección necesaria.
- h) Sacar pesos para disminuir la presión para el siguiente punto de calibración,



### 3.2 CALIBRACION DE LA BOMBA DE DESPLAZAMIENTO

Antes de proceder a calibrar la bomba ésta debe estar limpia, observar posibles fugas o almacenamiento de aire, se debe observar el estado de las válvulas, uniones, empaques, etc. Para proceder a calibrar la bomba se procede de la siguiente manera:

- 1) Debemos realizar vacío después de haberla limpiado con un solvente apropiado, para eliminar residuos.
- 2) Se llena totalmente la bomba con mercurio usando el vaso alimentador, ver Fig. N° 3.2. Evite la entrada de aire cerrando la válvula de conexión de vacío.
- 3) Una vez llenada la bomba se cierra la válvula vaso-cámara. Leer la temperatura en la bomba, y conecte en el extremo de salida un ducto en forma de "cuello de ganso", para recuperar mercurio.
- 4) La escala y el vernier deben estar enceradas. Subir la presión hasta la presión de calibración (5000Lpc) y tomar lectura inicial en la bomba (lib).

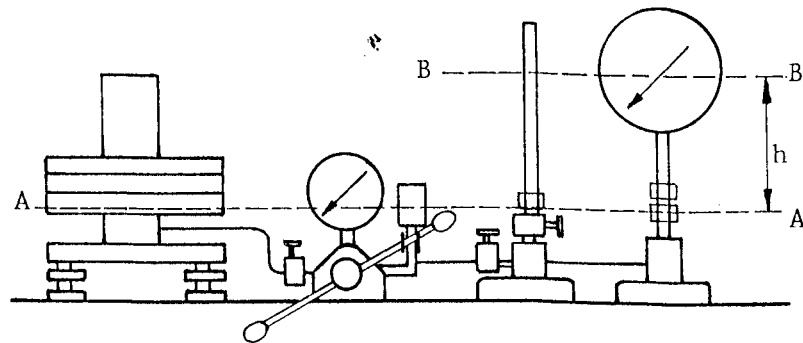


Fig N°3.1 PROBADOR DE PESOS MUERTOS.

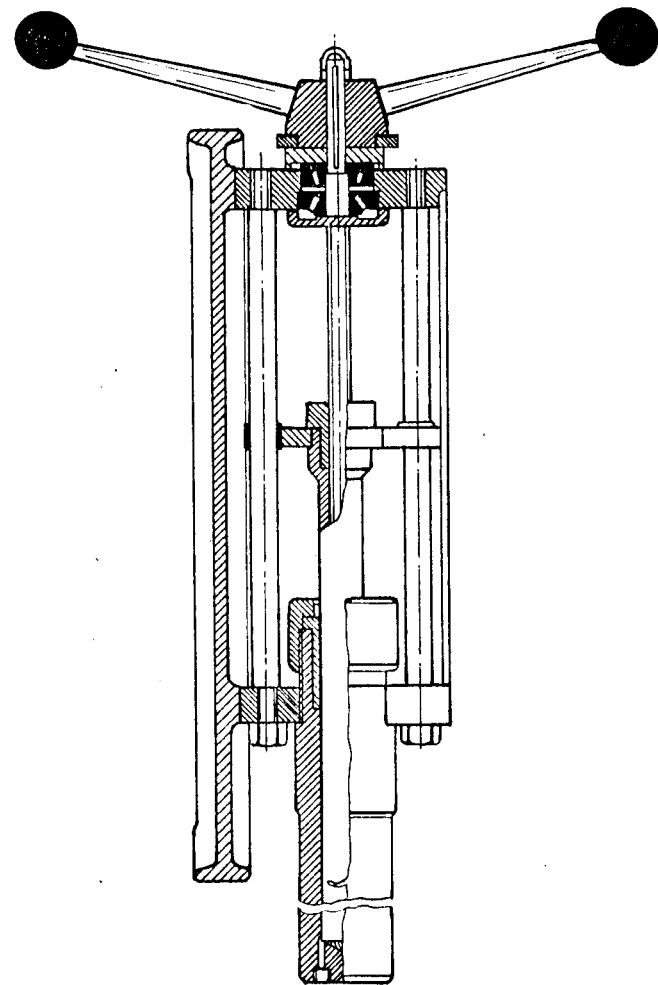


Fig N°3.2 ESQUEMA DE UNA BOMBA DE DESPLAZAMIENTO.

BIBLIOTECA





BIBLIOTECA

- 5) Bajar la presión hasta 0.0 Lpc, abrir media vuelta la válvula de salida y desplazar un volumen de mercurio ( $5 - 10 \text{ cm}^3$ ) por el "cuello de ganso" a un recipiente previamente pesado (Mrv).
- 6) Cerrar la válvula de salida y subir la presión a 5000 Lpc y anotar la lectura final en la bomba (Lfb) .
- 7) Pesar en una balanza el recipiente con mercurio y anotarlo en la hoja de calibración (Mrhg).
- 8) Repetir los pasos (5) al (7) hasta cubrir la capacidad de la bomba.

Llenar la hoja de calibración para determinar la constante de la bomba o el factor de calibración Fcb con el objeto de eliminar errores por : Expansión del cilindro de la bomba, compresibilidad de los empaques y deformación del tubo de bourdeón debido a que ~~no~~ existe otra forma de poder cuantificarlos.

Se debe realizar varias corridas para sacar un promedio de todos los valores o realizar un ajuste para obtener una ecuación del factor de calibración en función de la temperatura.



### 3.2.1 COMENTARIOS SOBRE LA HOJA DE CALIBRACION

En la prueba de calibración de la bomba volumétrica se obtienen los siguientes datos :  
Lectura inicial y final en la bomba, peso del recipiente vacío y con mercurio, temperatura en la bomba. Detallaremos el significado de cada una de las columnas de la hoja de calibración:

Columna 1.- Lectura inicial en la bomba Lib tomada a la presión de calibración, es dada en divisiones.

Columna 2.- Lectura final en la bomba Lfb tomada a la presión de calibración, *en divisiones.*

Columna 3.- Masa del recipiente vacío Mrv, en gramos.

Columna 4.- Masa del recipiente con mercurio, en gramos.

Columna 5.- Diferencia de lecturas en la bomba (Lb) multiplicada por el factor de calibración, en  $\text{cm}^3$ .

Columna 6.- Temperatura en la bomba, se re-

quiere que esta temperatura sea constante mientras dure la calibración.

Columna 7.- Masa de mercurio  $M_{hg}$  obtenida por la diferencia de (4) - (3).

Columna 8.- Volumen de mercurio medido a presión atmosférica y temperatura en la bomba, en  $cm^3$ . El valor de la densidad del mercurio es obtenido de la Tabla 1 del anexo A.

Columna 9.- Volumen del mercurio medido a presión de calibración y temperatura en bomba, ( $V_{hg@Pcb, Tb}$ ), en  $cm^3$ . El valor de la compresibilidad del mercurio se lo obtiene de la Tabla II, anexo A.

Columna 10.- Factor de calibración de la bomba ( $F_{cb}$ ), en  $cm^3$ /divisiones.

### 3.3 CALIBRACION DE LA CELDA P.V.T.

#### 3.3.1 PREFARACION DE LA CELDA

Antes de efectura la calibración, sacamos la

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA DE GEOLOGIA, MINAS Y PETRÓLEO

Laboratorio de Yacimientos y Petrofísica

HOJA DE CALIBRACION

Determinación del Factor de Calibración

Bomba No.: 22832

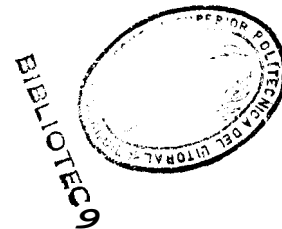
Presión de Calibración: 5000 LPC

Corrida No.: 1

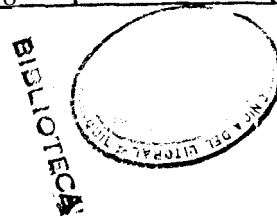
Operador : C.Castillo , P. Mora

Aprobado :

Fecha : Nov.5/85



(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
$L_{ib}$	$L_{fb}$	$M_{rv}$	$M_{rHg}$	$DEL_b$	$T_b$	$M_{Hg}$	$V_{Hg}$
Div	Div	Grs.	Grs.	(2)-(1)	°C	(4) - (3)	cm <sup>3</sup>
102.020	112.519	28.4241	174.00	10.499	25.5	145.58	10.76
112.519	121.899	28.4562	158.00	9.380		129.54	9.57
121.899	132.010	28.4918	165.00	10.111		136.51	10.09
132.010	141.680	28.4918	159.90	9.670		131.41	9.71
141.650	151.930	28.5436	167.40	10.250		138.86	10.26
151.930	161.970	28.5410	164.40	10.040		135.86	10.04
161.970	171.549	28.5713	158.10	9.579		129.53	9.57
171.549	182.195	28.5479	173.10	10.646		144.55	10.68
182.195	192.229	28.5312	164.90	10.034		136.37	10.08
192.229	202.379	28.4741	166.50	10.150		138.03	10.20
202.379	212.501	28.4802	166.50	10.122		138.02	10.20
212.501	222.309	28.4795	162.20	9.808		133.77	9.88



(9)	(10)	
$V_{Hg}^{**}$	FCb	Observaciones
$cm^3$	(9)/(5)	
10.745	1.023	T= se mantuvo const.
9.557	1.019	en la prueba.
10.076	0.997	
9.697	1.003	
10.246	1.00	
10.026	0.999	
9.557	0.998	
10.666	1.002	
10.066	1.003	
10.186	1.004	
10.186	1.006	
9.867	1.006	

$$8. - V_{Hg}^{a P, T} = (7) / \text{Den}_{Hg}^{a T}$$

$$** V_{Hg}^{a P_{cb}, T_b} = (8) [1 - P_{cb} \times C_{Hg}^{a T_b}]$$

$$FCb = V_{Hg}^{a P_{cb}, T_b} / \text{DEL}_{b}^{a P_{cb}, T_b}$$

celda para limpiarla con un hidrocarburo ligero como nafta o éter, luego secarla con aire a presión. Estando limpia y vacía se cierra sus válvulas completamente y se *chequean sus uniones*.

Colocar aceite en el baño de la celda a temperatura del laboratorio, e introducir la celda hasta alcanzar la temperatura de calibración de la celda, dejarla en reposo media hora para obtener una temperatura constante en el sistema baño-celda.

### 3.3.2<sup>A</sup> DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE LA CELDA

#### PROCEDIMIENTOS :

- 1) Abrir la válvula superior de la celda y conectar la bomba de vacío, asegúrese que la válvula inferior esté cerrada.
- 2) Hacer vacío y controlar posibles fugas observando el manómetro medidor de vacío. Conectar la bomba de desplazamiento a la celda.
- 3) Abrir la válvula bomba-celda y llenar de mercurio la línea de conexión hasta la

válvula inferior de la celda, que se encuentra cerrada, elevar la presión hasta la presión de calibración.

- 4) Cerrar lentamente la válvula bomba-celda para dejar la presión en la línea igual a la presión de calibración.
- 5) Tomar lectura inicial en la bomba.
- 6) Abrir ( $1 \frac{1}{2}$  vueltas) la válvula bomba-celda y luego abrir lentamente la válvula inferior de celda observando que la presión no disminuya de la presión de calibración (en  $\pm 5000$  Lpcm), esto se logra desplazando mercurio por medio de la bomba de desplazamiento, hasta terminar la capacidad de la misma.
- 7) Cerrar la válvula bomba-celda, tomar lectura en la bomba como lo indica la hoja de calibración. Procedemos a realizar un "cambio de bomba", con el objeto de inyectar más volumen de mercurio a la celda. Disminuir la presión a cero, para poder proceder a introducir más mercurio a la cámara de la bomba, abriendo la válvula del vaso alimentador.

8) Repetir estas operaciones (5 a 8) varias veces (5 a 8) hasta llenar la capacidad de la celda, se detecta el llenado de la misma cuando la presión se incrementa con el desplazamiento de mercurio.

Con la finalidad de fijar la presión se cierra lentamente la válvula inferior de la celda; equilibrándola.

Llenada la hoja de calibración con las lecturas efectuadas se determina la capacidad de la celda a la presión de calibración y temperatura ambiente (Vcc).

HOJA DE CALIBRACION : DETERMINACION DEL VOLUMEN CALIBRADO DE LA CELDA.

Columna 1.- Presión de calibración de la bomba (Pcb), en Lpcm.

Columna 2.- Lectura inicial en la bomba (Lib) en divisiones.

Columna 3.- Lectura final en la bomba (Lfb), en divisiones.

Columna 4.- Diferencia de **lecturas** en la bomba (Lb), en divisiones.



## ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA DE GEOLOGIA, MINAS Y PETRO-  
LEO.

Laboratorio de Yacimientos y Petrofísica

HOJA DE CALIBRACION

Determinación de la Capacidad de la Celda

Celda No. 23028

Temperatura en Bomba : 63°F

Factor de Calibración de la Bomba: 1.005 cm<sup>3</sup>/div.

Operador: Carlos Castillo

Aprobado : *Ing. Ricardo Gallegos*

Fecha: 3 Enero/86



BIBLIOTECA

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$P_{cb}$	$L_{ib}$	$L_{fb}$	$\Delta L_b$	$\sum \Delta L_b \times F_{cb}$
Lpcm	Div	Div	Div.	cm <sup>3</sup>
5000 <sup>4</sup>	6.990	249.763	242.773	660.044
5000	1.885	249.412	247.527	
5000	2.190	168.650	166.460	
			$\sum = 656.760$	

Columna 5.- La sumatoria de la columna 4 multiplicada por el factor de calibración de la bomba representa el volumen de mercurio **correcto** que es la capacidad de la celda a la presión de calibración y temperatura ambiente (Vcc).

El serpentín está incluido como **parte** del volumen.

### 3.3.3 VARIACION DEL VOLUMEN DE LA CELDA CON LA PRESION.

PROCEDIMIENTO :

- 1) Llenar la celda con mercurio a la presión de calibración y temperatura ambiente.
- 2) Cerrar la válvula bomba-celda y tomar lectura en la bomba.
- 3) Abrir la válvula bomba-celda bajamos la presión a cero Lpcm girando el manubrio de la bomba en sentido contrario a las manecillas del reloj.

4) Repetir el paso 2. Luego incrementar la presión tomando lecturas de 1000 Lpcm cada una, hasta 10000 Lpcm, véase hoja de Calibración.

5) Repetir los pasos 3 y 4, aumentando la temperatura en la celda, para obtener las relaciones P.V.T.

Llenando la hoja de calibración con las lecturas efectuadas, se puede determinar el factor de calibración de la celda por presión (Fccp) que relaciona el cambio de volumen de celda con el cambio de presión. Aplicando un ajuste a estos valores *se* puede encontrar una ecuación de relación entre Fccp y la temperatura.

HOJA DE CALIBRACION : VARIACION DEL VOLUMEN DE LA CELDA CON PRESION.

Columna 1.- Presión (P), en Lpc.

Columna 2.- Lectura en la bomba (Lb), en divisiones.



BIBLIOTECA

Columna 3.- AP, diferencia de presión se calcula como:  $(1.i) - (1)$

donde:

(1.i) se refiere al primer valor de presión.

Columna 4.- Volumen de mercurio inyectado en cada etapa. Se calcula como:  
 $Lb * Fcb$

Columna 5.- Volumen de mercurio inyectado corregido. Se calcula como :  
 $(4) * (1 + Chg Tc * (3)).$

Columna 6.- Factor de calibración de la celda por presión (Fccp), en  $cm^3/Lpc.$

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEO  
 LABORATORIO DE YACIMIENTOS Y PETROFISICA

HOJA DE CALIBRACION

VARIACION DEL VOLUMEN DE CELDA CON PRESION

CELULA : 23028

TEMP. EN CELDA : 79°F

FACTOR DE CALIBRACION BOMBA : 1 005 cm<sup>3</sup>/DIV

OPERADOR : Carlos Castillo A.

Aprobado : Ing. R. Gallagos O.

Fecha : 17/Dic/86

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
PRESION	L <sub>b</sub>	ΔP	L <sub>b</sub> * F <sub>cb</sub>	L <sub>b</sub> * F <sub>cb</sub> * (1 + ChgT <sub>c</sub> * ΔP)	F <sub>ccp</sub>
dato	dato	(1.i) - (1)	(2) * F <sub>cb</sub>	(4) / { 1 + ChgT <sub>c</sub> * (3) }	[ (5) - (4) ] / (3)
5000	178.390	0.00	179.282	179.282	0.00
4000	178.085	1000	178.975	179.025	0.00005
3000	177.750	2000	178.639	179.738	0.000540
2000	177.570	3000	178.458	178.607	0.0000407
1000	177.200	4000	178.086	178.284	0.0000405

Promedio = 1.746 \* 10<sup>-4</sup> cm<sup>3</sup>/Lp

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEO  
 LABORATORIO DE YACIMIENTOS Y PETROFISICA

HOJA DE CALIBRACION  
 VARIACION DEL VOLUMEN DE CELDA CON PRESION

CELDA : 2308  
 TEMP. EN CELDA : 160°F  
 FACTOR DE CALIBRACION BOMBA : 1.005 cm<sup>3</sup>/DIV  
 OPERADOR : Carlos Castillo A. Aprobado : Ing. R. Gallegos O.  
 Fecha : 17/Dic/86

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
PRESION dato	L <sub>b</sub> dato	ΔP (1.i) - (1)	L <sub>b</sub> *F <sub>cb</sub> (2)*F <sub>cb</sub>	L <sub>b</sub> *F <sub>cb</sub> *(1+ChgT <sub>c</sub> *ΔP) (4)*{1+ChgT <sub>c</sub> *(3)}	F <sub>ccp</sub> (5) - (4)/(3)
5000	173.940	0.00	174.809	174.809	0.00
4000	173.615	1000	174.483	174.530	0.000053
3000	173.345	2000	174.212	174.318	0.000053
2000	173.110	3000	173.976	174.134	0.0000527
1000	172.80	4000	173.664	173.874	0.0000525

Promedio = 5.28 10<sup>-5</sup> cm<sup>3</sup>/lpc

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEO  
 LABORATORIO DE YACIMIENTOS Y PETROFISICA

HOJA DE CALIBRACION  
 VARIACION DEL VOLUMEN DE CELDA CON PRESION

CELDA : 2308  
 TEMP. EN CELDA : 212°F  
 FACTOR DE CALIBRACION BOMBA : 1.005 cm /DIV  
 OPERADOR : Carlos Castillo A.                      Aprobado : Ing. R. Gallegos O.  
 Fecha : 17/Dic/86

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
PRESION	b	AP	$L_b * F_{cb}$	$L_b * F_{cb} * (1 + ChgT_c * \Delta P)$	$F_{ccp}$
dato	dato	(1.i) - (1)	(2) * $F_{cb}$	(4) * {1 + ChgT_c * (3)}	(5) - (4) / (3)
5000	166.380	0.00	167.212	167.212	0.00
4000	165.600	1000	166.428	166.481	0.000053
3000	164.645	2000	165.468	165.574	0.000053
2000	162.745	3000	163.559	163.716	0.0000523
1000	157.830	4000	158.619	158.821	0.0000505

Promedio =  $5.22 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^3 / \text{lpc}$

Se calcula así :

$$F_{ccp} = (5) - (4) / (1_i) - (1)$$

### 3.3.4 VARIACION DE VOLUMEN DE LA CELDA CON LA TEMPERATURA.

Los efectos de dilatación son ocasionados por los incrementos de la temperatura, estos efectos se deben cuantificar estableciendo la temperatura del baño a diferentes temperaturas que la del ambiente.

Una vez elegida la gama de temperaturas procedemos así :

- 1) Abrir todas las válvulas del sistema, pero a excepción de la válvula superior de la celda, esperar que se estabilice la temperatura en la celda a la que vamos a ejercer las relaciones P.V.T.
- 2) Cuando se alcance la temperatura debemos aumentar la presión como se hizo en la sección 3.3.3. Tomando lectura en la bomba en cada paso.



Llenando la hoja de calibración con las lecturas efectuadas, estas medidas nos permiten calcular el factor de calibración de celda por temperatura ( $F_{cct}$ ) que relaciona el cambio de volumen de la celda con el cambio de temperatura, que será un valor único para cada modelo de celda.

#### COMENTARIOS DE LA HOJA DE CALIBRACION.

Con los datos obtenidos de la calibración realizada en 3.3.3, la hoja resulta sólo simples restas de volúmenes de mercurio inyectado corregido (columna 5)

Columna 1.- Presión de operación.

Columna 2.-  $\Delta V$ , diferencia de volúmenes a dos temperatura dada.

Columna 3.-  $\Delta V/\Delta T$ , factor de calibración de celda por temperatura.

Expansión debido a la temperatura.

(1)	(2)	(3)
Presión (Lpc)	$\Delta V(160^\circ\text{F} - 69^\circ\text{F})$	$\Delta V/\Delta T$
5000	$179.282 - 174.809 = 4.473$	0.0552
4000	$179.025 - 174.536 = 4.489$	0.0554
3000	$179.738 - 174.318 = 5.420$	0.0669
2000	$178.607 - 174.134 = 4.473$	0.0552
1000	$178.284 - 173.874 = 4.410$	0.0544

Promedio =  $0.0574 \text{cm}^3/^\circ\text{F}$

## 3.3.5 RESULTADOS DE CALIBRACION

Con la información obtenida en la calibración, se establece la ecuación de volumen de celda en función de la temperatura, la cual resulta ser una función lineal (Anexo C). Luego se puede extrapolar los resultados de la calibración a la presión cero manométrica y obtener la curva isobárica para la celda.

Se comprueba que las rectas son equidistantes y que su distancia vertical representa la dilatación o contracción de la celda, esta cualidad nos permite deducir de estas curvas, el volumen de la celda a todas las presiones y temperaturas comprendidas en el intervalo de la calibración.

Expansión debido a la presión.

	79°F	160°F	212°F
PRESION	$\text{cm}^3/\text{Lpc} * 10^{-5}$		
1000 - 3000	21.600	5.273	5.193
3000 - 5000	29.900	5.300	5.300
Promedio	25.750	5.286	5.246

La ecuación ajustada que relaciona  $F_{ccp}$  y la temperatura es:

$$F_{ccp} = 2.391952 \cdot 10^{-4} - 9.71143 \cdot 10^{-7} (T)$$

El valor para el término de temperatura es:

$$F_{ccp} = 0.0574 \text{ cm}^3 / ^\circ\text{F}$$

La ecuación general del volumen de la celda a cualquier presión y temperatura (ver Anexo C) es:

$$V_C \text{ a } P, T = 660.044 + 0.0574 \cdot T + (2.39 \cdot 10^{-4} - 9.71 \cdot 10^{-7} \cdot T) \cdot P$$

donde:

T es la temperatura de la celda en  $^\circ\text{F}$

P es la presión de la celda en Lpc

$V_C$  es el volumen de la celda

Es importante anotar que estos valores de calibración permanecerán constante mientras no se realice ningún cambio tanto en la celda como en la bomba.

## CAPITULO IV

### ANALISIS P.V.T. : PROCEDIMIENTOS DE OPERACION

Antes de efectuar el análisis P.V.T. debe comprobarse el estado de la muestra tal como viene del campo y acondicionar el equipo de laboratorio.

La comprobación del estado de la muestra es un factor *mu*y importante, porque nos dará parámetros más representativos del yacimiento. Al llegar la botella portamuestra al laboratorio se debe hacer una observación visual de posibles fugas a través de las válvulas que pudieron ocurrir durante el transporte, alterando la composición original de la muestra y además debemos determinar la presión de saturación con el empleo de una bomba de desplazamiento volumétrico tal *se* realiza detalladamente en el anexo B.

Dentro de las operaciones de acondicionamiento del equipo tenemos: limpieza de equipo, prueba de fugas y prueba de vacío.

#### LA LIMPIEZA DEL EQUIPO

La limpieza se realiza con el fin de eliminar trazas de muestras analizadas anteriormente, empleando un solvente no corrosivo tal como: éter, tolueno, xileno. Primero

se extrae todo el mercurio sucio de la celda para que sea limpiado adecuadamente, colocamos primero el recipiente con solvente en la válvula superior de la celda dejando drenar el solvente al interior de la celda, mientras se está succionando por la válvula inferior mediante el uso de una bomba de vacío, este procedimiento se lo realiza hasta que el solvente drenado salga limpio.

Desconecte el recipiente con solvente y la bomba de vacío de la celda. Conecte una manguera de aire y deje circular el aire que saldrá con solvente hasta que salga sólo aire. Elevar la temperatura de la celda (150°F) para evaporar totalmente restos de solvente, finalmente hacer vacío a la celda y cuando la operación termine, cerrar la válvula superior e inferior.

#### PRUEBAS DE FUGAS

La prueba de fugas se la realiza llenando por la válvula superior de la celda con mercurio o aire de presión; verificando las fugas con el uso de agua de jabón en la celda a través de los estóperos y conexiones. En caso de que existan fugas se deben apretar o si es necesario cambiar los empaques, los mismos que deben ser probados nuevamente.

## PRUEBA DE VACIO :

Para realizar vacío se conecta el equipo en la válvula superior mientras se mantiene cerrada la válvula inferior.

### 4.1 TRASPASO DE LA MUESTRA A LA CELDA.

Antes de realizar el traspaso debemos hacer un cálculo del volumen de muestra que vamos a introducir a la celda con el propósito de tener suficiente petróleo residual al final de la prueba, el cual nos facilitará determinar su compresibilidad a temperatura ambiente.

La base del cálculo está en conocer el volumen de la botella portamuestra y el volumen de petróleo residual indispensable al final de la liberación diferencial. Este cálculo lo hacemos sin incluir el volumen de muestra a utilizarse en el viscosímetro, y separadores. Además se debe tener cuidado en considerar el volumen de aceite residual, porque en caso de tener un volumen considerable no podremos disminuir la presión a valores tan bajos que son necesarios en un informe de análisis P.V.T.

De lo anterior tenemos que el volumen de petróleo residual (Vor) está dado por la siguiente ecuación:

$$Vor = V_{pm} - V_c$$

donde :

$V_{pm}$  es el volumen de la botella portamuestra en  $cm^3$ .

$V_c$  es el volumen de la celda, en  $cm^3$ .

Para el cálculo del volumen de petróleo saturado (Vos) se realiza a partir de la siguiente ecuación:

$$Vos = Vor * B_o$$

donde:

\*  $B_o$  es el factor volumétrico del petróleo siendo un valor promedio aceptable en ECUADOR de 1.5 Bbls/Bbls.

Los procedimientos para realizar el traspaso del petróleo saturado se llevan a cabo de la forma siguiente:

- 1) Disponer todo el equipo y sus conexiones como se ilustra en la Fig. N° 4.1. Todas las válvulas de la 1 a 5 deben estar cerradas.
- 2) Abrir la válvula 1 desplazando mercurio hasta la válvula 2 y elevar la presión hasta la presión de traspaso seleccionada (Pt) que debe ser mayor



o igual a la presión del yacimiento y mayor que la presión de la botella portamuestra.

- 3) Hacer purga en la línea sacando mercurio a través de la conexión.
- 4) Abrir lentamente la válvula 2 manteniendo constante la presión de traspaso.
- 5) De la misma manera que el paso 4, abrir la válvula 3 manteniendo la presión de traspaso constante hasta la válvula 4.
- 6) Tomar lectura inicial de traspaso en la bomba , (Litb), temperatura inicial de traspaso en la bomba (Titb) y temperatura inicial de traspaso en la celda (Titc).
- 7) Abrir lentamente la válvula 4 manteniendo la presión de traspaso constante, para asegurar el flujo en una sola fase, y desplazar el émbolo de la bomba de desplazamiento hasta el volumen de muestra a traspasar.
- 8) Tomar lectura final de traspaso en la bomba (Lftb), temperatura final de traspaso en la bomba (Tftb) y temperatura final de traspaso en la celda (Tftc).



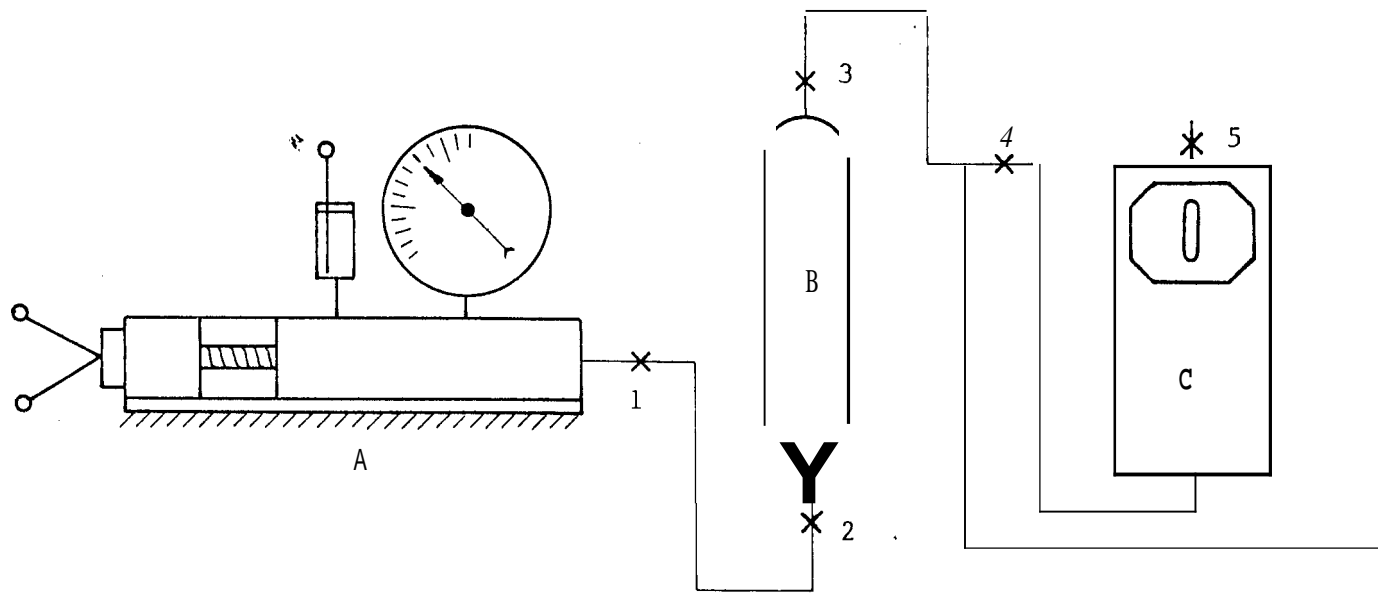
En la operación de traspaso se debe tener la celda llena de mercurio para que sirva de "colchón", de tal manera que evitemos liberación de gas de la muestra si la celda estuviera vacía.

Para no tener represionado el sistema celda-bomba-botella portamuestra y sufran daño los empaques se cierra la válvula 4 y se aísla el resto del equipo que no utilizaremos durante el análisis.

#### 4.2 CALENTAMIENTO DE LA MUESTRA A LA TEMPERATURA DEL YACIMIENTO. EXPANSION [REDACTED] CA.

Una vez que tenemos la muestra en la celda procedemos a calentar hasta la temperatura seleccionada, desde la temperatura ambiente ( $T_a$ ) hasta la temperatura del yacimiento ( $T_y = T_{fcc}$ ), observando que la presión de traspaso se mantenga constante debido a que el aumento de temperatura va a elevar la presión.

Quitamos la botella portamuestra, tal como se observa en la Figura ■ 4.2, elevamos la presión hasta la presión de traspaso y abrimos la válvula 4 para tener un sistema bomba-celda a igual presión, debido a la expansión de la muestra dentro de la celda hace que sea necesario una extracción de mercurio



- A BOMBA DE DESPLAZAMIENTO
- B BOTELLA PORTAMUESTRA
- C CELDA

Fig Nº 4.1 DISPOSICION DE LOS EQUIPOS DURANTE EL TRASPASO.



para mantener constante la presión de traspaso.

Tomamos la lectura inicial de calentamiento en la bomba (Licb), temperatura inicial de calentamiento en bomba (Ticb) y en la celda (Ticc).

Cuando se haya alcanzado la temperatura final de calentamiento o del yacimiento ( $T_y$ ), tomamos lectura final de calentamiento en la bomba (Tfcb), temperatura final de calentamiento en la bomba (Tfcb) y en la celda (Tfcc).

Debido a la extracción de mercurio Licb es mayor que Lfcb. El volumen de la muestra que está en la celda juega un papel muy importante en el calentamiento debido a que si este es muy grande una parte de la muestra llegará hacia la bomba que ocasionará un error en las lecturas.

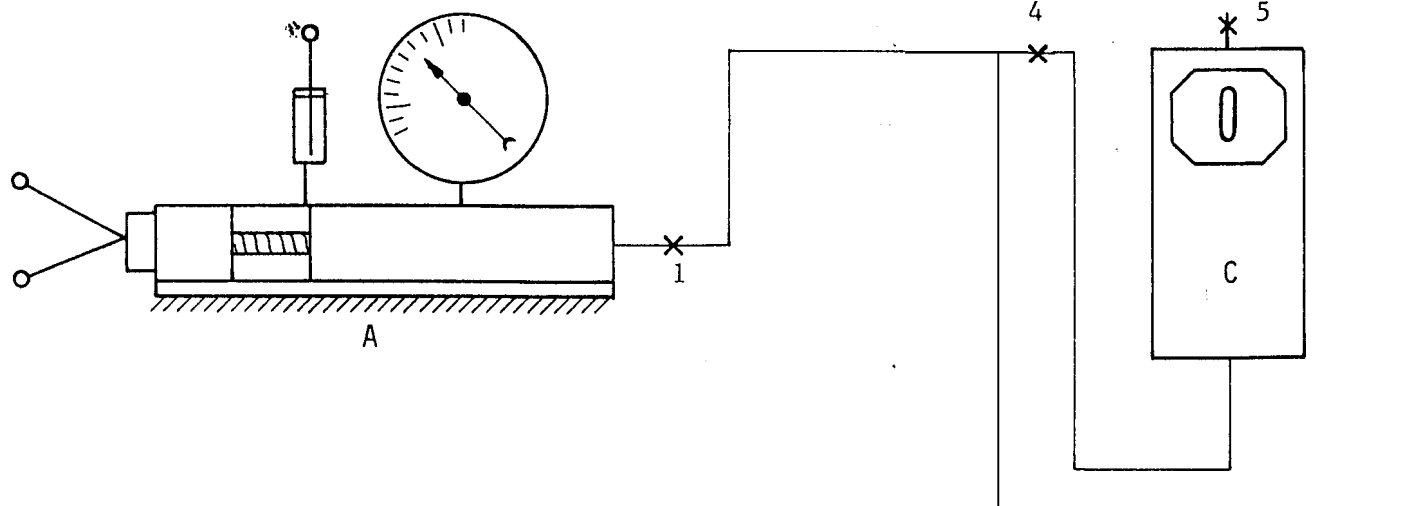
#### 4.3 LIBERACION INSTANTANEA

Una vez que hemos alcanzado la temperatura del yacimiento y ésta permanece constante, estamos listos para realizar una liberación instantánea a la muestra. El equipo debe encontrarse dispuesto de tal forma como se ilustra en la Fig. N° 4.2 de la sección anterior. Si la presión del yacimiento es ma-

yor que la presión de traspaso tenemos que elevar la presión con la debida precaución de si esas condiciones de presión y temperatura no son excesivas y peligrosas al equipo. La liberación instantánea se la realiza de la siguiente manera :

- 1) Tomar lectura y temperatura en bomba a las condiciones de presión y temperatura establecidas para la muestra, recuerde partir de la presión de yacimiento aunque la presión de traspaso sea menor que la presión del yacimiento.
- 2) Disminuir la presión en intervalos de 500 Lpc mediante la extracción de mercurio de la celda a la bomba.
- 3) Tomar lectura en la bomba (Lb) y temperatura en la bomba (Tb).
- 4) Repetir los pasos anteriores hasta 5 etapa's de liberación instantánea por abajo de la presión de saturación. Estar atento a la visualización de la burbuja en la ventana de la celda.

Un indicador aproximado de la presión de saturación puede ser la visualización de una pequeña burbuja en la ventana de la celda o como se determinó a condiciones ambiente en anexo B. Esta presión a condi



A BOMBA DE DESPLAZAMIENTO  
 C CELDA

Fig Nº 4.2 DISPOSICION DEL EQUIPO DURANTE EL CALENTAMIENTO

yor que la presión de traspaso tenemos que elevar la presión con la debida precaución de si esas condiciones de presión y temperatura no son excesivas y peligrosas al equipo. La liberación instantánea se la realiza de la siguiente manera :

- 1) Tomar lectura y temperatura en bomba a las condiciones de presión y temperatura establecidas para la muestra.
- 2) Disminuir la presión en intervalos de 500 Lpc mediante la extracción de mercurio de la celda a la bomba.
- 3) Tomar lectura en la bomba (Lb) y temperatura en la bomba (Tb).
- 4) Repetir los pasos anteriores hasta 5 etapas de liberación instantánea por abajo de la presión de saturación. Estar atento a la formación de la burbuja en la ventana de la celda.

Un indicador aproximado de la presión de saturación puede ser la visualización de una pequeña burbuja en la ventana de la celda o como se determinó a condiciones ambiente en Anexo B. Esta presión a condición de yacimiento estará por arriba de la presión

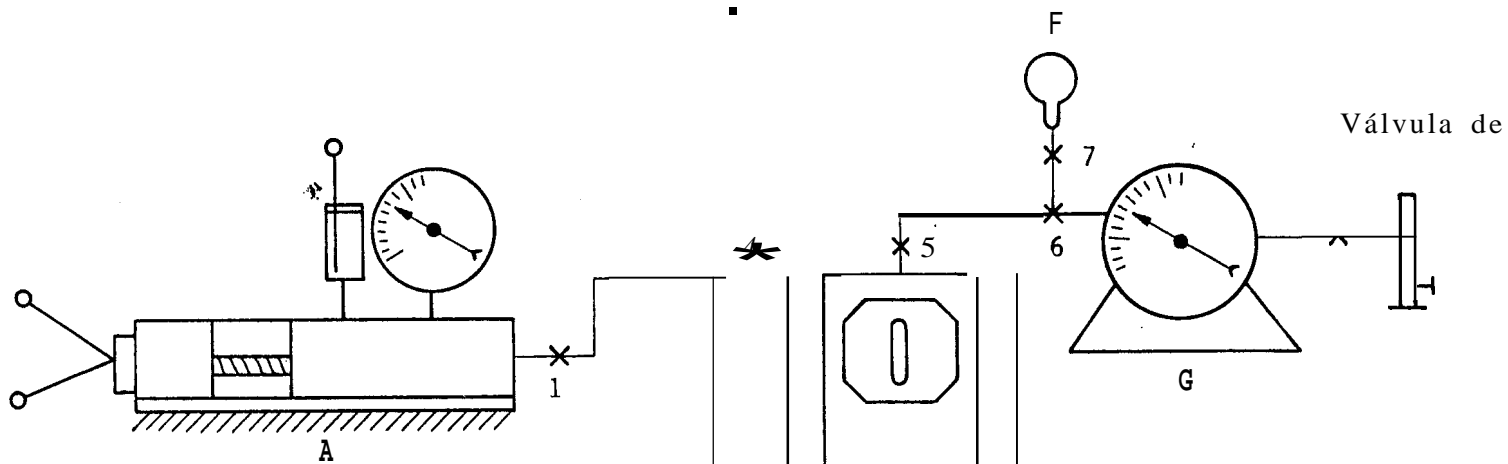
de saturación a condiciones ambiente, para posteriormente ir disminuyendo la presión lentamente con el propósito de visualizar la burbuja en la ventana de la celda, o para tener un cambio de pendiente si estamos graficando presión versus lecturas en bomba,

Se debe agitar la muestra en la celda antes de efectuar cualquier lectura, para que los valores de presión y volumen sean los correctos de condiciones de equilibrio. Se recomienda graficar las lecturas.

#### 4.4 LIBERACION DIFERENCIAL.

Una vez realizada la liberación instantánea debemos disponer al equipo, tal como se muestra en la Figura N° 4.3, para proceder a realizar la liberación diferencial de la siguiente forma :

- 1) Elevar la presión a la presión de saturación ó 1500 Lpc por arriba de esta presión.
- 2) Tomar lectura inicial de extracción del gas (Liegb) y temperatura inicial de extracción del gas (Tiegb) en la bomba y lectura inicial de extracción en el gasómetro (Liegg).
- 3) Abrir lentamente la válvula 5, procurando mante-



- A BOMBA DE DESPLAZAMIENTO
- C CELDA
- F BALONES TOMA MUESTRA
- G GASOMETRO
- Q QUEMADOR

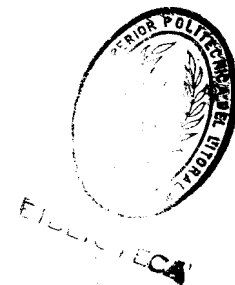


Fig Nº 4.3 DISPOSICION DEL EQUIPO DURANTE LA LIBERACION DIFERENCIAL.



ner constante la presión de extracción con el auxilio de la válvula 6. Observar la entrada de gas al gasómetro en caso de que exista en el manómetro un aumento o "golpe" de presión se debe cerrar simultáneamente las válvulas 5 y 6 del sistema.

- 4) Proceder a tomar muestras de gas abriendo la válvula 7 del gasómetro, y pesarlo dando suficiente tiempo para el llenado de los balones que fueron pesados vacíos previamente para luego pesarlo con el gas extraído en esa etapa.
- 5) Abrir la válvula de salida del gas en el gasómetro para que éste sea quemado.
- 6) Tomar lecturas inicial y final de extracción en el gasómetro, temperaturas inicial y final de extracción del gas en el gasómetro. Lectura final de extracción y temperatura final de extracción del gas en la bomba.
- 7) Después de cada extracción, proceder a determinar la nueva presión de saturación y repetir toda la operación nuevamente. Cuando el manómetro marque 200 ó 300 Lpc extraer todo el gas y reducir la presión a cero.

#### 4.5 ENFRIAMIENTO DE LA MUESTRA A LA TEMPERATURA DE LABORATORIO.

Después de extraer todo el gas y que la celda esté a condiciones de laboratorio proceder al enfriamiento como a continuación se detalla :

- 1) Cerrar la válvula 5 del sistema.
- 2) Elevar la presión hasta la presión de calibración.
- 3) Tomar lectura en la bomba.
- 4) Reducir la presión en intervalos de 500 Lpc.
- 5) Tomar lecturas en bomba en cada intervalo.

Para hacer esta operación debe el equipo estar frío unas 10 horas por lo menos.

Una vez terminado el enfriamiento sacar el aceite residual para determinar su densidad mediante el uso del picnómetro y el volumen de aceite residual que se tiene al final del análisis.

## CAPITULO V

### CALCULOS MANUALES Y COMPUTARIZADOS

#### 5.1 DOCUMENTOS DE LAS HOJAS DE CALCULO <sup>(5)</sup>

El cálculo de las relaciones P.V.T. de los sistemas naturales de petróleo y gas disuelto a partir de la información obtenida en el laboratorio constituye una tarea de mucha importancia debido al gran número de variables y correcciones que es necesario manejar.

Cuando *se* dispone de una microcomputadora es conveniente programar el procedimiento descrito con el objeto de reducir el tiempo empleado y errores humanos.

El procedimiento tiene como base la técnica experimental desarrollada en el laboratorio de yacimientos del Instituto Mexicano del Petróleo. El procedimiento citado ha sido mecanizado para un sistema de computadoras IBM-AT en lenguaje BASIC. Adjunto detallaremos un instructivo de los cálculos que se hacen tanto a mano, como en el computador. El instructivo cubre los aspectos correspondientes a : la

nomenclatura, el registro de datos, la secuencia de cálculo, y listado del programa.

HOJA 1 (ver pág.138)

Datos generales: (1)  $P_o$  : presión atmosférica en el lugar.

(2)  $P_b$  : presión base o normal.

(3)  $T_b$  : temperatura base o normal.

(4)  $P_{cb}$  : presión de calibración de bomba.

(5)  $P_{cc}$  : presión de calibración de celda.

(6)  $T_{cc}$  : temperatura de calibración de celda.

(7)  $F_{cb}$  : factor de calibración de bomba.

(8)  $F_{cct}$  : Factor de calibración de celda por temperatura.

(9)  $V_{cc}$  : Volumen de calibración de celda.

(10)  $F_{ccp}$  : Factor de calibración de celda por presión.

Traspaso: (1)  $P_t$  : presión de traspaso.

(2)  $L_{itb}$  : Lectura inicial de traspaso en bomba.

(3)  $L_{ftb}$  : lectura final de traspaso en bomba.

(4)  $T_{itb}$  : temperatura inicial de traspaso en bomba.

(5)  $T_{ftb}$  : temperatura final de traspaso en bomba.

(6)  $T_{itc}$  : temperatura inicial de traspaso en celda.

(7)  $T_{ftc}$  : temperatura final de traspaso en celda.

- Calentamiento : (1) Pt : presión.de traspaso.
- (2) Licb : lectura inicial de calentamiento en bomba
- (3) Lfcb: lectura final de calentamiento en bomba,
- (4) Ticb: temperatura inicial de calentamiento en bomba.
- (5) Tfcb: temperatura final de calentamiento en bomba.
- (6) Ticc: temperatura inicial de calentamiento en celda.
- (7) Tfcc: temperatura final de calentamiento en celda.

HOJA 2 (ver pg. #139)

Liberación instantánea: (1) número de etapas de liberación instantánea a realizarse.

- (2) Presión del sistema
- (3) Lb : lectura en bomba
- (4) Tb ; temperatura en bomba.



HOJA 3 (ver pg. #140)

Liberación diferencial: (1) número de etapas de liberación diferencial a realizarse.

- (2) Presión del sistema a partir del punto de burbujeo.
- (3) Liegb: lectura inicial de extracción de gas en bomba.
- (4) Lfegb: lectura final de extracción de gas en bomba.

- (5) Liegg: lectura inicial de extracción de gas en gasómetro.
- (6) Lfegg: lectura final de extracción de gas en gasómetro.
- (7) Tegb: temperatura de extracción de gas en bomba.
- (8) Tfegg: temperatura final de extracción de gas en gasómetro.

HOJA 4 (ver Pág. N<sup>o</sup>141)

Densidad del gas extraído: (1) etapa correspondiente a la liberación de gas.

- (2) Balón: número o identificación de los balones de extracción.
- (3) Mbv: masa del balón vacío.
- (4) Mba: masa del balón con aire.
- (5) Mbg: masa del balón con gas.
- (6) Vb: volumen calibrado del balón.
- (7) GE: gravedad específica del gas extraído.



HOJA 5 (ver pg. #142)

Enfriamiento: (1) presión del sistema.

- (2) Lieb: lectura inicial de enfriamiento en bomba.
- (3) Lfeb: lectura final de enfriamiento en bomba.
- (4) Tb: temperatura en bomba.
- (5) Tfec: temperatura final de enfriamiento en bomba.
- (6) Densidad del petróleo residual determinada con el picnómetro.

Nota: Las presiones en la celda pueden ser menores a las del yacimiento y mayor a la presión atmosférica.

Una vez que hemos visto la nomenclatura y el registro de datos, con ellos debemos hacer unos cálculos previos que serán de utilidad en la liberación instantánea y en la diferencial. Estos cálculos son: Con los datos del traspaso calculamos.

- 1) Volumen de muestra traspasada desde la botella a la celda.

$$V_m @ P_t, T_t = (L_{ftb} - L_{itb}) * F_{cb} * (1 + P_{cb} * Chg_{Ttb}) * (\epsilon_{Ttc} / \epsilon_{Ttb}) * (1 - P_t * Chg_{Ttc})$$

Donde:

Chg<sub>Ttb</sub>: compresibilidad del mercurio a temperatura promedio en bomba,  $L_{pc}^{-1}$

$\epsilon_{Ttc}$  : volumen relativo del mercurio a temperatura promedio en la celda, adimensional.

- 2) Volumen de celda a las condiciones de traspaso.

$$V_c @ P_t, T_t = V_{cc} + (P_t - P_{cc}) * F_{ccp} + (T_{tc} - T_{cc}) * F_{cct}$$

- 3) Volumen de mercurio en la celda

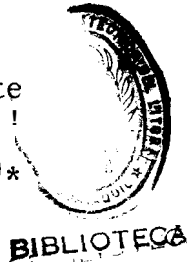
$$V_{hg} @ P_t, T_t = V_c @ P_t, T_t - V_m @ P_t, T_t$$

Con los datos del calentamiento.

- 1) Volumen de mercurio extraído de la celda al ca-

lentarse de  $T_t$  a  $T_{fcc}$  manteniendo  $P_t = \text{constante}$

$$V_{hg \text{ Ext}} = (L_{icb} - L_{fcb}) * F_{cb} (1 + P_{cb} * \text{Chg}T_{cb}) * (\epsilon T_{fcc} / \epsilon T_{cb}) * (1 - P_t * \text{Chg}T_{fcc})$$



2) Expansión del mercurio dentro de la celda

$$\text{ExpHg} = V_{hg} @ P_t, T_t * \{ (1 + P_t * \text{Chg}T_{icc}) * (\epsilon T_{fcc} / \epsilon T_{icc}) * (1 - P_t * \text{Chg}T_{fcc}) - 1 \}$$

3) Expansión de la celda

$$\text{ExpC} = (T_{fcc} - T_{icc}) * F_{cct}$$

4) Expansión de la muestra en la celda

$$\text{ExpM} = V_{hg \text{ Ext}} + \text{ExpC} - \text{ExpHg}$$

5) Volumen de la muestra a  $P_t, T_{fcc}$

$$V_m @ P_t, T_{fcc} = V_m @ P_t, T_t + \text{ExpM}$$

6) Volumen de la celda a  $P_t, T_{fcc}$

$$V_c @ P_t, T_{fcc} = V_c @ P_t, T_t + \text{ExpC}$$

7) Volumen de mercurio en la celda a  $P_t, T_{fcc}$

$$V_{hg} @ P_t, T_{fcc} = V_c @ P_t, T_{fcc} - V_m @ P_t, T_{fcc}$$

8) Coeficiente de expansión térmico de la muestra

$$\text{Beta} = 1 / \bar{V}_m * (\Delta V / \Delta T)_p$$

$$\text{Beta} = (2 * \text{ExpM}) / (V_m @ P_t, T_t + V_m @ P_t, T_{fcc}) * (T_{fcc} - T_{icc})$$

Con los datos del enfriamiento.

1) Volumen de mercurio inyectado al pasar de  $T_{fcc}$  a  $T_a$ , manteniendo el sistema a presión atmosférica





constante.

$$V_{hg} \text{ Iny} = (L_{feb} - L_{ieb}) * F_{cb} * (1 + P_{cb} * C_{hg} T_b) * (\epsilon_{T_{fec}} / \epsilon_{T_b})$$

2) Volumen de celda a  $P_{at}, T_{fcc}$

$$V_{c @ P_{at}, T_{fcc}} = V_{cc} + (0 - P_{cc}) * F_{ccp} + (T_{fcc} - T_{cc}) * F_{cct}$$

3) Volumen de mercurio en la celda

$$V_{hg @ P_{at}, T_{fcc}} = V_{c @ P_{at}, T_{fcc}} - V_{m @ P_{at}, T_{fcc}} **$$

\*\* Es el valor final de la columna 12 de la liberación diferencial (ver pg. # )

4) Encogimiento del mercurio dentro de la celda al pasar de  $T_{fcc}$  a  $T_a$ .

$$Enc_{Hg} = V_{hg @ P_{at}, T_{fcc}} * (1 - \epsilon_{T_a} / \epsilon_{T_{fcc}})$$

5) Encogimiento de la celda al pasar de  $T_{fcc}$  a  $T_a$

$$Enc_C = (T_{fcc} - T_a) * F_{cct}$$

6) Encogimiento de la muestra residual al pasar de  $T_{fcc}$  a  $T_a$ .

$$Enc_M = V_{hg} \text{ Iny} - Enc_C - Enc_{Hg}$$

7) Volumen de muestra residual a  $P_{at}, T_a$

$$V_{or @ P_{at}, T_a} = V_{m @ P_{at}, T_{fcc}} - Enc_M$$

8) Coeficiente de expansión térmico de la muestra residual.

$$\beta_r = (2 * Enc_M) / (V_{m @ P_{at}, T_{fcc}} + V_{or @ P_{at}, T_a}) * (T_{fcc} - T_a)$$

9) Volumen de muestra residual a condiciones normales.



$$Vor @ CN = Vor @ Pat, Ta \cdot 1 - (Ta-60) \cdot \beta r$$

10) Masa de muestra residual

$$Mor = Vor @ Pat, Ta \cdot \text{Densidad del petróleo residual}$$

11) Masa total medida

$$Mt = Mor + Mg^{**}$$

**\*\*Mg** : valor final de la columna 22 de la liberación diferencial (ver Pg. # )

Una vez realizado los cálculos anteriores estamos listos para hacer el cálculo a mano, siguiendo el sistema de tablas ordenadamente.

HOJAS 6 (ver Pág. N° )

Cálculos en la liberación instantánea.

Columna 1.- P: es la presión del sistema, dato.

Columna 2.- Lb: es la lectura en la bomba en divisiones, dato.

Columna 3.-  $\Delta Lb$ : es la diferencia entre la lectura del valor inicial (2.i) en la bomba y las demás lecturas efectuadas (2).

Columna 4. -  $(1 - P_* + ChgTfcc)$ : es un factor adimensional que se usará posteriormente.

Columna 5.-  $Vhg \text{ Ext}$ : es el volumen de mercurio que se extrae debido a la disminución de presión.



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEO  
LABORATORIO DE YACIMIENTOS Y PETROFISICA

ANALISIS P.V.T.

HOJA DE DATOS INTERNA

NUMERO DE TRABAJO : LABYP-01

OPERADOR : ESPOL

1. DATOS GENERALES

- |                               |                                 |   |
|-------------------------------|---------------------------------|---|
| (1) $P_o = 14.65 \text{ Lpc}$ | (4) $P_{cb} = 5000 \text{ Lpc}$ | (7) $F_{cb} = 1.005 \text{ cm}^3/\text{div}$      |
| (2) $P_b = 14.70 \text{ Lpc}$ | (5) $P_{cc} = 5000 \text{ Lpc}$ | (8) $F_{cct} = 0.015 \text{ cm}^3/^\circ\text{F}$ |
| (3) $T_b = 60^\circ\text{F}$  | (6) $T_{cc} = 80^\circ\text{F}$ | (9) $V_{cc} = 660.044 \text{ cm}^3$               |
|                               |                                 | (10) $F_{ccp} = 0.000072 \text{ cm}^3/\text{Lpc}$ |

- 2. TRASPASO DE MUESTRA

- |                              |                                  |                                  |
|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| (1) $P_t = 5000 \text{ Lpc}$ | (2) $L_{itb} = 94.865$           | (5) $T_{ftb} = 80^\circ\text{F}$ |
|                              | (3) $L_{ftb} = 174.245$          | (6) $T_{itc} = 81^\circ\text{F}$ |
|                              | (4) $T_{itb} = 80^\circ\text{F}$ | (7) $T_{ftc} = 81^\circ\text{F}$ |

3. CALENTAMIENTO DE MUESTRA

- |                              |                                  |                                   |
|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| (1) $P_t = 5000 \text{ Lpc}$ | (2) $L_{icb} = 177.183$          | (5) $T_{fcb} = 83^\circ\text{F}$  |
|                              | (3) $L_{fcb} = 169.940$          | (6) $T_{icc} = 81^\circ\text{F}$  |
|                              | (4) $T_{icb} = 80^\circ\text{F}$ | (7) $T_{fcc} = 160^\circ\text{F}$ |

4. LIBERACION INSTANTANEA

(1) ETAPA	(2) PRESION	(3) Lb	(4) Tb
1	5000	169.940	83
2	4000	168.775	83
3	3000	167.575	83.5
4	2000	166.260	84
5	1500	165.470	84
*6	1480	165.270	84
7	1470	164.750	85
8	1450	163.740	85
9	1300	155.780	86
10	1030	130.840	86
11	790	90.545	87
12	530	0.739	87

\*  
 $P_b$  punto de burbujeo



## HOJA 3

## 5. LIBERACION DIFERENCIAL

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
ETAPA	PRESION	Liegb	Lfegb	Liegg	Lfegg	Tegb	Tfegg
1	1480	165.199	166.875	0.00	0.00	80	80
2	1400	162.250	168.870	0.00	620	80	80
3	1300	161.439	171.110	0.00	890	81	81
4	1200	162.700	173.290	0.00	885	81	81
5	1100	163.130	176.338	0.00	880	81	81
6	900	157.520	179.600	0.00	1310	81.5	81.5
7	700	155.610	182.000	0.00	1224	81.5	81.5
8	500	150.320	184.560	0.00	1150	82	82
9	300	137.770	186.970	0.00	940	82	82
10	100	62.045	189.520	0.00	790	82	82
11	0	106.550	169.520	0.00	850	82	82

## HOJA 4

### 5. DENSIDAD DEL GAS EXTRAIDO

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
ETAPA	BALON	Mbv	Mba	Mbg	Vb	GE
1						1.071
2						1.090
3						1.095
4						1.123
5						1.150
6						1.280
7						1.240
8						1.270
9						1.35
10						1.644

HOJA 5

6.	ENFRIAMIENTO	(1) PRESION =	
	(2)	(3)	(4)
	Lb	Tb	Tc
	-	-	-
	-	-	-
	-	-	-
	-	-	-

(6) DENSIDAD DEL PETROLEO RESIDUAL = 0.8712 Grs/cm<sup>3</sup>

\*\*\* OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.

No se procedió a realizar el enfriamiento como se detalla en este trabajo, sino de la siguiente manera:

a) Medir la gravedad del petróleo residual

32° API a 80°F

b) Corregir esta gravedad API usando tablas de corrección por temperatura

30.9" API a 60°F (0.8712 grs/cm<sup>3</sup>)

c) Calcular el volumen de petróleo residual.

$$\text{Vol. pet. residual} = \frac{\text{Peso vaso + pet} - \text{Peso vaso}}{\text{Dens. pet. residual}} = \frac{152.7 - 103.7}{0.8712}$$

$$\text{Vol. Pet. residual} = 56.244 \text{ cm}^3$$



Se calcula como:  $(3) * (4) * K1$

donde:

$K1$ : es una constante detallada al final.

Columna 6.-  $EncC$  : es el encogimiento de la celda debido a la disminución de presión.

Se calcula como:  $[(1.i) - (1)] * F_{ccp}$

donde:

$(1.i)$ : se refiere al valor inicial de la columna 1.

Columna 7.-  $ExpHg$ : es la expansión del mercurio debido a la disminución de presión.

Se calcula como:  $(1.i) - (1) * K2$

Donde:

$K2$ : es una constante detallada al final.

Columna 8.-  $ExpM$ : es la expansión de la muestra debido a la disminución de presión.

Se calcula como:  $(5) - (6) - (7)$

Columna 9.-  $V_m$ : es el volumen de la muestra a estas condiciones de presión y temperatura.

Se calcula como:  $K3 + (8)$

donde

$K3$ : es una constante detallada al final.



Columna 10.-  $V_c$ : es el volumen de la celda a estas condiciones de presión y temperatura.

Se calcula como:  $K_4 - (6)$

donde

$K_4$ : es una constante detallada al final.

Columna 11.-  $V_{hg}$ : es el volumen de mercurio a estas condiciones de presión y temperatura.

Se calcula como:  $K_5 - (5) + (7)$

donde

$K_5$ : es una constante detallada al final.

Columna 12.-  $V_{rel}$ : es el volumen relativo de muestra con respecto al volumen de muestra en el punto de burbujeo.

Se calcula como:  $(9)/K_6$

donde

$K_6$ : es una constante detallada al final.

Columna 13.-  $C_o$ : es la compresibilidad del petróleo.

$$C_o = (1/V_m) * (V_m/P)^t$$

$$C_o = (2 * \text{Exp}M) / \{(V_m \text{ Pt}, T_{fcc} + V_m) (P_t - P)\}$$

$$C_o = 2 * (8) / \{(9.i) - (9)\} * \{(1.i) - (1)\}$$

donde

(9.i) se refiere al valor inicial de la columna 9.

Los valores de  $K_1 \dots K_n$  son constantes que deben ser calculadas en un principio para su uso, estas constantes son:

$$K_1 = (1 + P_{cb} * Chg_{Ttb}) * F_{cb} * (\epsilon_{Tf_{cc}} / \epsilon_{Tb})$$

$$K_2 = V_{hg} @ Pt, Tf_{cc} * Chg_{Tf_{cc}}$$

$$K_3 = V_m @ Pt, Tf_{cc}$$

$$K_4 = V_c @ Pt, Tf_{cc}$$

$$K_5 = V_{hg} @ Pt, Tf_{cc}$$

$$K_6 = V_m @ P_b, Tf_{cc} \text{ (volumen de muestra en el punto de burbujeo)}$$

HOJA 7 (ver pg. N° )

Cálculos en la liberación diferencial.

Columna 1.- P: es la presión del sistema, dato,

Columna 2.-  $Liegb$ : es la lectura inicial de extracción de gas en la bomba, dato.

Columna 3.-  $Lfegb$ : es la lectura final de extracción de gas en la bomba, dato.

Columna 4.-  $\Delta Lfegb$ : diferencia de lecturas finales de extracción de gas en la bomba. Se calcula como:  $(3.i) - (3.i-1)$ , donde  $i$  varía de 1 hasta el número de etapas en la liberación diferencial.

Columna 5.-  $(1 - P * Chg_{Tc})$ : factor de corrección, adimensional. Se calcula como:  $1 - (1) * Chg_{Tc}$ .

Columna 6.-  $V_{hg} \text{ Iny}$ : volumen de mercurio inyectado a



la celda en cada etapa. Se calcula como:  $(4) * (5) * K1$

donde:

$K1$ : es la constante calculada en la hoja 6.

Columna 7.-  $V_{hg} Iny Acum$ : volumen de mercurio inyectado acumulado. Se calcula como:  $\Sigma (6)$ .

Columna 8.-  $AP$ : diferencia de presiones. Se calcula como:  $(1.i) - (1)$  donde  $(1.i)$  es el valor inicial de presión.

Columna 9.-  $EncC$ : Encogimiento de la celda debido a disminución de presión. Se calcula como:  $(8) * F_{ccp}$

Columna 10.-  $V_{hg} InyC$ : volumen de mercurio en la celda. Se calcula como:  $K2 + (7)$ , donde  $K2$ : es una constante detallada al final.

Columna 11.-  $ExpHg$ : expansión del mercurio debido a la disminución de presión. Se calcula como:  $(10) * (8) * ChgTc$

Columna 12.-  $V(o+gdis)$ : volumen de petróleo más gas disuelto a condiciones de yacimiento. Se calcula como:

$K3 - (7) - (9) - (11)$ , donde

$K3$ : se calculó en la hoja 6.

Columna 13.-  $\Delta Legb$ : diferencia de lecturas de extracción de gas en la bomba. Se calcula como:  $(3) - (2)$ .



- Columna 14.-  $V_g \text{ ext. CY}$ : volumen de gas extraído a condiciones de yacimiento. Se calcula como:  $(13) \cdot (5) \cdot K1$ , donde  
 $K1$ : es la constante antes calculada.
- Columna 15.-  $V_g \text{ prod. CL}$ : volumen de gas producido a condiciones de laboratorio. Se calcula como:  $L_{fegg} - L_{iegg}$  (ver hoja 3 por nomenclatura), a este valor debe sumarse el volumen de gas que se saque durante la toma de muestra.
- Columna 16.-  $V_g \text{ prod. CN}$ : volumen de gas producido a condiciones normales. Se calcula como:  
 $(15) \cdot K4$ , donde  
 $K4$ : es una constante detallada al final.
- Columna 17.-  $V_g \text{ prod. CN acum}$ : volumen de gas producido a condiciones normales acumulado. Se calcula como:  $\Sigma (16)$ .
- Columna 18.-  $V_g \text{ ideal CY}$ : volumen de gas ideal producido a condiciones de yacimiento. Se calcula como:  $\{(16) \cdot K5\} / (1)$ , donde  
 $K5$ : es una constante detallada al final.
- Columna 19.-  $GE$ : gas gravedad específica del gas en cada etapa. Se calcula gravimétricamente, dato.

- Columna 20.-  $\rho_{\text{gas prod}}$ : densidad del gas producido en cada etapa. Se calcula como:  
 $(19) * K6$ , donde  
 $K6$ : es una constante detallada al final.
- Columna 21.-  $M_{\text{gas prod}}$ : masa del gas producido en cada etapa. Se calcula como:  $(16) * (20)$
- Columna 22.-  $M_{\text{gas prod acum}}$ : masa del gas producido acumulado en cada etapa. Se calcula como:  $\Sigma(21)$ .
- Columna 23.-  $V_{\text{gas dis.CN}}$ : volumen de gas disuelto a condiciones normales. Se calcula como:  
 $(17.f) - (17)$ , donde  
 $(17.f)$ : se refiere al valor final de la columna 17.
- Columna 24.-  $M_{\text{gas dis}}$ : masa del gas disuelto. Se calcula como:  $(22.f) - (22)$ , donde  
 $(22.f)$ : se refiere al valor final de la columna 22.
- Columna 25.-  $(M_o + g_{\text{dis}})$ : masa del petróleo más gas disuelto en cada etapa. Se calcula como:  $(M_{\text{or}} + (24))$ , donde  
 $M_{\text{or}}$ : es la masa del petróleo residual.
- Columna 26.-  $R_s$ : relación gas-petróleo en cada etapa. Se calcula como:  $(23)/K7$ , donde  
 $K7$ : es una constante detallada al final.



- Columna 27.-  $(R_{si} - R_s)$ : diferencia entre relación gas-petróleo inicial y relación gas-petróleo en cada etapa. Se calcula como:  $(26.i) - (26)$ , donde  $(26.i)$ : se refiere al valor inicial de la columna 26.
- Columna 28.-  $B_o$ : es el factor volumétrico del petróleo en cada etapa. Se calcula como:  $(12)/K_7$ .
- Columna 29.-  $B_g$ : es el factor volumétrico del gas en cada etapa. Se calcula como:  $(14)/(16)$ .
- Columna 30.-  $(R_{si} - R_s) * B_g$ : Es el segundo término en la ecuación del factor volumétrico total. Se calcula como:  $(27) * (29)$ .
- Columna 31.-  $B_t$ : es el factor volumétrico total en cada etapa. Se calcula como:  $(28) + (30)$ .
- Columna 32.-  $\rho_o$  CY: densidad del petróleo a condiciones de yacimiento. Se calcula como:  $(25)/(12)$ .
- Columna 33.- Prod.Acum: Producción acumulada de gas producido en cada etapa. Se calcula como:  $(17)/(17.f)$ , donde  $(17.f)$ : se refiere al valor final de la columna 17.





HOJA 6 (continuación)

$V_m$	$V_C$	$V_{hg}$	$V_{rel}$	$C_O$	OBSERVAC.
$K_3 + (8)$	$K_4 - (6)$	$K_5 - (5) + 7$	$(9)/K_6$		
83.813	661.229	577.416	0.9559	0.00	
84.746	661.157	576.411	0.9665	1.11xE-05	
85.717	661.086	575.369	0.9776	1.12xE-05	
86.802	661.014	574.211	0.9899	1.17xE-05	
87.481	660.978	573.497	0.9977	1.22xE-05	
87.679	660.977	573.298	1.0	1.28xE-05	Pto. Burbujec
88.202	660.976	572.273	1.0059	-	
89.222	660.974	571.752	1.0176	-	
97.256	660.964	563.708	1.1092		
122.473	660.944	537.078	1.3968	-	
163.277	660.927	497.650	1.8622	-	
254.269	660.908	405.075	2.899	-	





HOJA 7 (continuación)

(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
$E_{nc} C$	$V_{hg} \text{ iny } C$	$E_{xp} H_g$	$V(0+gd) \text{ cy}$	$\Delta L_{egb}$	$V_g \text{ ext } CY$	$V \text{ PROD } CL$	$V_g \text{ prod. } CN$
(8) $F_{ccp}$	$K_2 + (7)$	(10)(8) $Chg$ $T_c$	$K_3 - (7)$ $-(9) - (11)$	(3) - (2)	(13)(5) $K_1$	$L_{fegg-Liegg}$	(15) $K_4$
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	620	593.588
0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	890	852.086
0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	885	847.299
0.073	582.891	0.0671	77.991	13.208	13.391	880	842.512
0.0416	586.198	0.1030	74.634	22.080	22.386	1310	1254.194
0.0559	588.632	0.1391	72.150	26.390	26.758	1224	1171.858
0.0703	591.227	0.1756	69.504	34.240	34.717	1150	1101.010
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	940	899.956
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	790	756.346
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	850	813.790



$V_g$ acum CN	$V_g$ ideal CY	$GE_g$ prod	$P_g$ prod	$M_g$ prod	$M_g$ prod ac	$V_g$ dis CN	M gas dis
$\Sigma$ (16)	(16) $\frac{K_5}{(11)}$	DATO	(19) $K_6$	(16) (20)	$\Sigma$ (21)	(17. f) - (17)	(22. f) - (22)
0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	9132.639	13,6084
593.588	7.433	1.071	0.00131	0.7776	0.7776	8539.051	12.8308
1445.674	11.490	1.090	0.00133	1.1333	1.9109	7686.965	11.6975
2292.973	12.378	1.095	0.00134	1.1354	3.0463	6839,666	10.5621
3135.485	13.427	1.123	0.00137	1.1542	4.2005	5997.154	9.4079
4389.679	24.429	1.150	0.00141	1.7684	5,9689	4742,960	7.6395
5561.537	29.347	1.180	0,00144	1.6875	7.6564	3571.102	5.9520
6662.547	38,601	1.239	0.00152	1.6735	9.3299	2470,092	4.2785
7562.503	52,587	1.270	0.00155	1.3949	10,7248	1570.136	2,8836
8318.849	132.587	1.350	0.00165	1.2479	11.9727	813.790	1.6357
9132.639		1.644	0,00201	1.6357	13.6084	0.000	0.000



HOJA 7 (continuación)

(33) (34)

prod. acum.	Z	OBSERVAC.
(17)/(17.f)	(14)/(18)	
0.000	-	
0.0649	0.9029	
0.1583	0.8533	
0.2511	0.8673	
0.3433	0.9973	
0.4806	1.0913	
0.6089	0.9118	
0.7295	0.8994	
0.8281	0.9487	
0.9109	0.9749	
1.00	0.00	



Columna 34.- Z: factor de desviación del gas en cada etapa. Se calcula como:  $(14)/(18)$ .

Los valores de K2, K4, K5, K6, K7 son constantes que deben ser calculadas en un principio para su uso, estas constantes son:

$K2 = V_{hg} @ P_t, T_{fcc}$  (valor inicial de la columna 11 en la liberación instantánea) .

$$K4 = \{Pat * (T_b + 460)\} / P_b * (T_L + 460)$$

donde :

Pat: es la presión atmosférica en lpca.

Tb: es la temperatura base o normal en grados Fahrenheit.

Pb: es la presión base o normal en lpca.

TL: es la temperatura promedio en el laboratorio.

$$K5 = \{P_b (T_c + 460)\} / (T_b + 460)$$

donde :

Tc: es la temperatura en la celda igual a la del yacimiento.

$K6 = 0.0012231094 \text{ Grs/cm}^3$  (densidad del aire)

$K7 = V_{or} @ CN$  ,

donde :

K7: es el volumen de petróleo residual a condiciones normales.

Para calcular el  $B_o$ ,  $B_t$ ,  $\rho_o$  a presiones por arriba del punto de burbujeo, se emplean las siguientes ecuaciones:

$$B_o = \frac{V_m}{V_{or}}$$

donde:

$V_m$  : es el volumen de muestra (columna 9 en la li  
beración instantánea hasta el punto de burbujeo).

$V_{or}$  : es el volumen de petróleo residual (K7).

$$B_t = B_o$$

$$\rho_o = \frac{M_t}{V_m}$$

donde:

$M_t$  : es la masa total (cálculo N° 11 en el enfriamiento).

$V_m$  : es el volumen de muestra (columna 9 en la li  
beración instantánea hasta el punto de burbujeo).

## 5.2 DIAGRAMA DE FLUJO

Debido a la serie de correcciones que se hacen basándose en la calibración de la celda y la bomba a con  
diciones de presión y temperatura dadas, se requiere conocer el volumen de muestra con precisión que se logra en forma indirecta a partir de las lecturas en la bomba.

Una vez visto el cálculo a mano, presentamos en forma resumida, por medio de diagramas de flujo, en las Fig. N° 5.1 a 5.4. En ellas se indican la procedencia de los datos y la secuencia de las operaciones.

### 5.3 DESCRIPCION DEL PROGRAMA.

El programa está elaborado en el lenguaje **BASIC** y requiere una memoria de 12000 Bytes. Los datos fueron agrupados de la siguiente forma :

DATOS GENERALES.- Presión atmosférica, presión base o normal, temperatura base o normal, presión de calibración, presión de calibración de celda, temperatura de calibración de celda, factor de calibración de bomba, factor de calibración por temperatura de la celda, volumen de calibración de celda, factor de calibración por presión de la celda.

DATOS DEL TRASPASO.- Presión a la que se efectuó el traspaso, lecturas en la bomba al iniciar y finalizar el traspaso, temperaturas en la celda y en la bomba al iniciar y finalizar dicha operación.

DATOS DEL CALENTAMIENTO.- Lecturas en la bomba al iniciar y finalizar el calentamiento, temperaturas



en la celda y en la bomba al iniciar y finalizar pa  
ra las mismas condiciones.

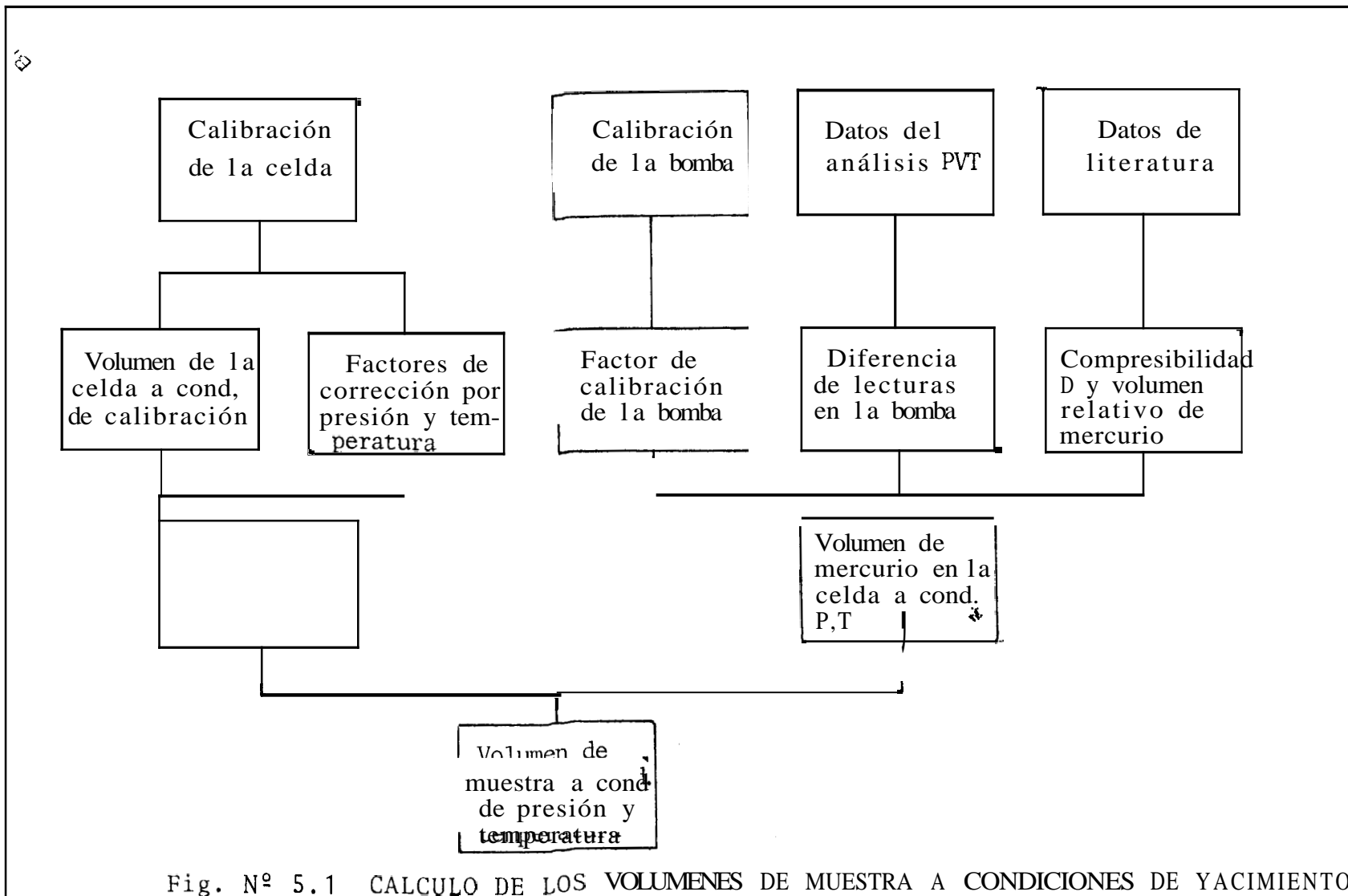
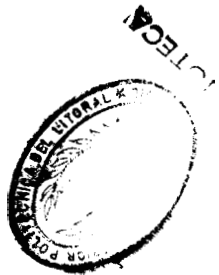
DATOS DE LIBERACION INSTANTANEA.- Presión, lectura  
y temperatura en la bomba para cada observación; y  
presión del punto de burbujeo.

DATOS DE LIBERACION DIFERENCIAL.- Presión, lectu-  
ras en la bomba al iniciar y finalizar la extrac-  
ción de gas, temperatura en la bomba y el número de  
etapas de observación.

DATOS DEL ENFRIAMIENTO.- Presión, lecturas en la  
bomba, volumen y densidad del petróleo residual.

El programa utiliza ecuaciones ajustadas para la  
compresibilidad y volumen relativo del mercurio, a-  
sí como los gráficos resultantes de la calibración  
efectuada al sistema.

Adjunto presentamos los datos que proporcionamos al  
programa así como los resultados que forman parte  
del reporte.



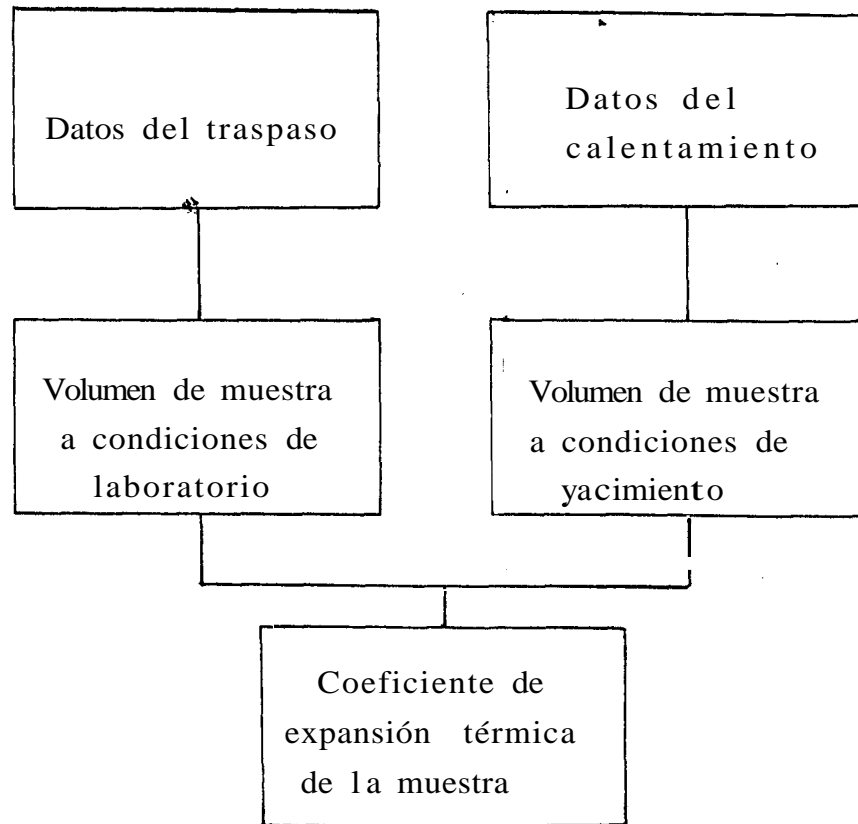


Fig. N° 5.2 CALCULO DEL COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA DE LA MUESTRA.

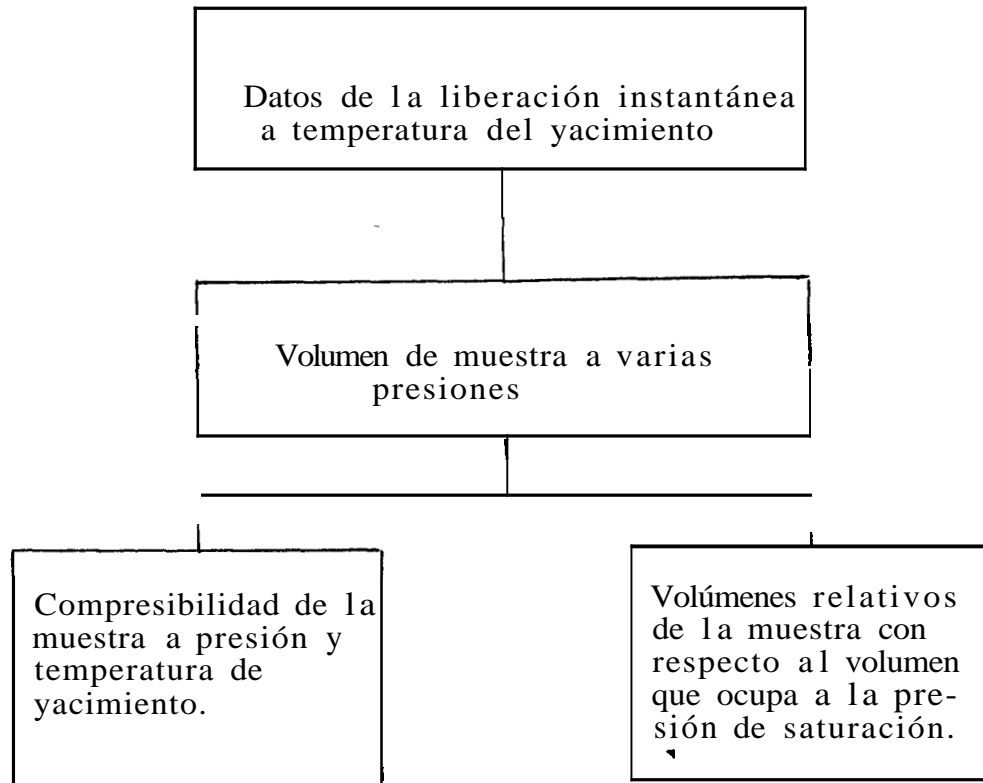


Fig. Nº 5.3 CALCULO DE COMPRESIBILIDAD Y VOLUMEN RELATIVO DE MUESTRA.

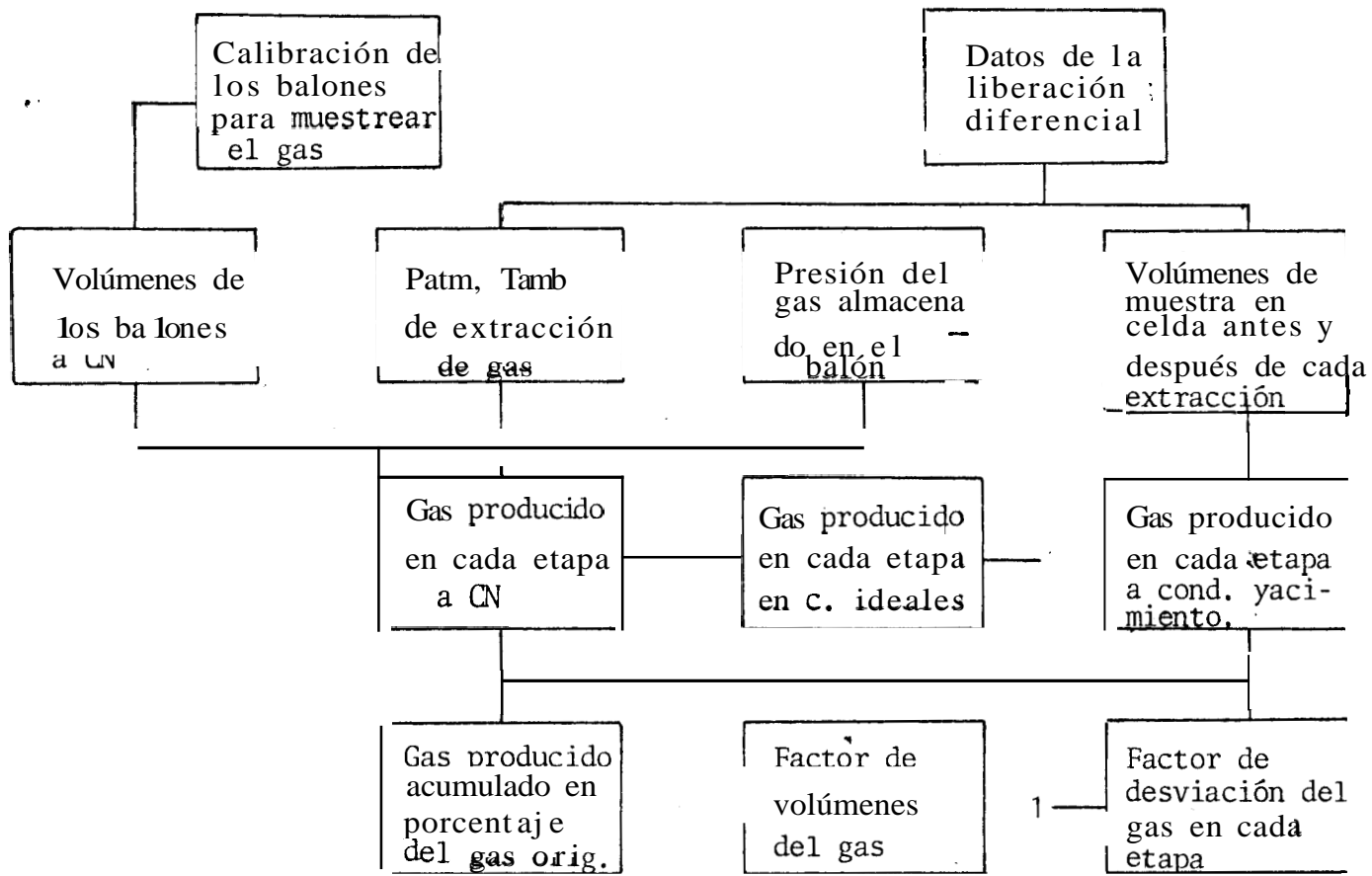


Fig. Nº 5.4 CALCULO. DE LOS FACTORES DE VOLUMENES Y DE DESVIACION DEL GAS.

**DATOS DEL TRASPASO.-** Presión a la que se efectuó el traspaso, lecturas en la bomba al iniciar y finalizar *el traspaso y temperaturas en la celda y en la bomba al iniciar y finalizar dicha operación.*

**DATOS DEL CALENTAMIENTO.-** Lecturas en la bomba al iniciar y finalizar el calentamiento, temperaturas en la celda y en la bomba al iniciar y finalizar para las mismas condiciones.

**DATOS DE LIBERACION INSTANTANEA.-** Presión, lectura y temperatura en la bomba para cada observación; además, presión del punto de burbujeo.

**DATOS DE LIBERACION DIFERENCIAL.-** Presión, lecturas en la bomba al iniciar y finalizar la extracción de gas, temperatura en la bomba, el número de etapas de observación.

**DATOS DEL ENFRIAMIENTO.-** Presión, lecturas en la bomba, volumen y densidad del petróleo residual.

El programa utiliza ecuaciones ajustadas para la compresibilidad y volumen relativo del mercurio, así como los gráficos resultantes de la calibración efectuada al sistema.

El tiempo efectivo de cómputo para realizar el cálculo completo de un análisis de este tipo es de alrededor de minutos, que resultan insignificante comparado con las horas-hombre que se necesitarían si los cálculos fueren efectuados con calculadora de escritorio por personal técnico. Se eliminan además los posibles errores humanos.

El programa introduce datos presentados por pantalla lo que permite obtener una copia de los datos tan sólo presionando la tecla "Cambiar" (shift) y a la vez la tecla "pantalla" (Pr Sr) localizadas en el teclado.

Adjunto presentamos los datos que proporcionamos al programa así como los resultados que forman parte del reporte.

```

10 SAVE'PVT.BAS
20 '-----
30 'E S P D L          TESIS DE INGENIERIA DE S E R V I C I O
40 'DIRECTOR: Ing. RICARDO GALLEGOS ORTA
50 'AUTOR   : CARLOS ANTONIO CASTILLO ARREAGA
60 'PROGRAM : PVTLAE
70 '-----
80 DIM P(20),LB(20),TB(20),PD(20),LIEBB(20),LFEBB(20),LIEGB(20),LFEBG(20),TEBB(2
0),TFEBG(20),END(20),EM(20),VM(20),VC(20),VOLHB(20),CD(20),VREL(20),VHBE(20),EHS
(20),VHBI(20),VHSD(20),DELP(20),ENCE(20),VHIC(20),EXHS(20),VGBD(20),VGPCBACU(2
0)
90 DIM DLFEBB(20),COL5(20),DELEBB(20),VGEDY(20),VGPCB(20),VGPCBAC(20),V6ICY(20),
DBP(20),MGP(20),MGPAC(20),VSDCB(20),M6D(20),M6GD(20),RS(20),DELRS(20),BD(20),BB(
20),BT(20),DFCY(20),PRDAC(20),ZETA(20),COL4(20),DELB(20),SB(20)
100 REM +          IDENTIFICACION POR PANTALLA          +
110 CLS
120 CLS
130 FOR I=15 TO 65
140   LOCATE 4,I:PRINT "■"
150   LOCATE 20,I:PRINT "■"
160 NEXT I
170 FOR I=4 TO 20
180   LOCATE I,15:PRINT "■"
190   LOCATE I,65:PRINT "■"
200 NEXT I
210 LOCATE 7,34:PRINT " PVTLAR 1.0"
220 LOCATE 8,34:PRINT "-----"
230 LOCATE 10,19:PRINT "DIRECTOR : ING. RICARDO GALLEGOS O."
240 LOCATE ,19:PRINT "OBJETIVO : CALCULO DE PARAMETROS P.V.T."
250 LOCATE ,19:PRINT "AUTOR   : CARLOS ANTONIO CASTILLO ARREAGA"
260 LOCATE ,19:PRINT "FECHA   : 09/AG0/87"
270 LOCATE 19,25:COLOR 31,13:PRINT "DIGITE ENTER PARA CONTINUAR":COLOR 7,0
280 Z% = INPUT$(1):IF ASC(Z%) (>) 13 THEN 270
290 CLS
300 LOCATE 10,27:INPUT "TRABAJO N. - ";T%
310 LOCATE 12,27:INPUT "FECHA   :";D%
320 LOCATE 14,27:INPUT "COMPANIA :";CIA%
330 LOCATE 16,27:INPUT "NOMBRE DEL POZO :";W%:CLS
340 FOR I=15 TO 65
350   LOCATE 3,I:PRINT "■"
360   LOCATE 23,I:PRINT "■"
370 NEXT I
380 FOR I=3 TO 23
390   LOCATE I,15:PRINT "■"
400   LOCATE I,65:PRINT "■"
410 NEXT I
420 SOUND 800,3
430 LOCATE 1,27:COLOR 31,13:PRINT " ==> DATOS GENERALES":COLOR 7,0
440 LOCATE 4,17:INPUT "(1) Presion atmosferica (lpc) =====>";P0:SOUND 200,1
450 LOCATE 6,17:INPUT "(2) Presion normal (lpc) =====>";P8:SOUND 200,1
460 LOCATE 8,17:INPUT "(3) Temperatura normal (^F) =====>";TB:SOUND 200,1

```



```

470 LOCATE 10,17:INPUT "(4) Presion Calib. bomba (lpc) ==>";PCB:SOUND 200,1
480 LOCATE 12,17:INPUT "(5) Presion Calib. celda (lpc) ==>";PCC:SOUND 200,1
490 LOCATE 14,17:INPUT "(6) Temp. Calib. celda (^F) =====>";TCC:SOUND 200,1
500 LOCATE 16,17:INPUT "(7) Fact. Calib. bomba (cc/div) ==>";FCB:SOUND 200,1
510 LOCATE 18,17:INPUT "(8) Fact. Calib. celda (cc/^F) ==>";FCCT:SOUND 200,1
520 LOCATE 20,17:INPUT "(9) Vol. Calib. celda (cc) =====>";VCC:SOUND 200,1
530 LOCATE 22,17:INPUT "(10) Fact. Calib. celda (cc/lpc) ==>";FCCP:SOUND 200,1
540 CLS
550 FOR I=15 TO 65
560     LOCATE 3,1 :PRINT "■"
570     LOCATE 23,1:PRINT "■"
580 NEXT I
590 FOR I=3 TO 23
600     LOCATE 1,15:PRINT "■"
610     LOCATE 1,65:PRINT "■"
620 NEXT I:SOUND 800,3
630 LOCATE 1,27:COLOR 31,13:PRINT " ==> DATOS DE TRASPASO ";COLOR 7,0
640 LOCATE 4,17:INPUT "(1) Presion de traspaso (lpc) =====>";PT:SOUND 200,1
650 LOCATE 7,17:INPUT "(2) Lect. inic. trasp. bomba =====>";LITB:SOUND 200,1
660 LOCATE 10,17:INPUT "(3) Lect. final trasp. bomba =====>";LFTB:SOUND 200,1
670 LOCATE 13,17:INPUT "(4) Temp. inic. trasp. bomba (^F) ==>";TITB:SOUND 200,1
680 LOCATE 16,17:INPUT "(5) Temp. final trasp. bomba (^F) ==>";TFTB:SOUND 200,1
690 LOCATE 19,17:INPUT "(6) Temp. inic. trasp. celda (^F) ==>";TITC:SOUND 200,1
700 LOCATE 22,17:INPUT "(7) Temp. final trasp. celda (^F) ==>";TFTC:SOUND 200,1

710 CLS
720 FOR I=15 TO 65
730     LOCATE 3,1 :PRINT "■"
740     LOCATE 23,1:PRINT "■"
750 NEXT I
760 FOR I=3 TO 23
770     LOCATE 1,15:PRINT "■"
780     LOCATE 1,65:PRINT "■"
790 NEXT I:SOUND 800,3
800 LOCATE 1,27:COLOR 31,13:PRINT " ==> DATOS DE CALENTAMIENTO ";COLOR 7,0
810 LOCATE 4,17:INPUT "(1) Presion de traspaso (lpc) =====>";PT:SOUND 200,1
820 LOCATE 7,17:INPUT "(2) Lect. inic. calent. bomba =====>";LICB:SOUND 200,1
830 LOCATE 10,17:INPUT "(3) Lect. final calent. bomba =====>";LFCB:SOUND 200,1
840 LOCATE 13,17:INPUT "(4) Temp. inic. calent. bomba (^F) ==>";TICB:SOUND 200,1
850 LOCATE 16,17:INPUT "(5) Temp. final calent. bomba (^F) ==>";TFCE:SOUND 200,1
860 LOCATE 19,17:INPUT "(6) Temp. inic. calent. celda (^F) ==>";TICC:SOUND 200,1
870 LOCATE 22,17:INPUT "(7) Temp. final calent. celda (^F) ==>";TFCC:SOUND 200,1

880 CLS
890 FOR I=15 TO 65
900     LOCATE 3,1 :PRINT "■"
910     LOCATE 23,1:PRINT "■"
920 NEXT I
930 FOR I=3 TO 23
940     LOCATE 1,15:PRINT "■"
950     LOCATE 1,65:PRINT "■"
960 NEXT I:SOUND 800,3

```



```

970 LOCATE 1,27:COLOR 31,13:PRINT " ==> DATOS DE LIBERACION INSTANTANEA " ;COLOR
7,0
980 LOCATE 2,12:INPUT "Numero de etapas ,Indicador del punto de burbujeo ? ",ELI
,IPB
990 LOCATE 4,19:PRINT "ETAPA":LOCATE 4,28:PRINT "PRESION":LOCATE 4,38:PRINT "LEC
T.BOMBA":LOCATE 4,53:PRINT "TEMP. BOMBA"
1000 LOCATE 5,19:PRINT "-----":LOCATE 5,28:PRINT "-----":LOCATE 5,38:PRINT "---
-----":LOCATE 5,53:PRINT "-----"
1010 FOR I=1 TO ELI
1020 LOCATE I+5,19:PRINT I;LOCATE I+5,28:INPUT P(I);LOCATE I+5,38:INPUT LB(I);LO
DATE I+5,53:INPUT TB(I)
1030 IF I>=17 THEN GOTO 1060
1040 IF I=ELI THEN GOTO 1200
1050 NEXT I
1060 CLS
1070 FOR I=15 TO 65
1080 LOCATE 3,I :PRINT "■"
1090 LOCATE 23,I:PRINT "■"
1100 NEXT I
1110 FOR I=3 TO 23
1120 LOCATE 1,15:PRINT "■"
1130 LOCATE 1,65:PRINT "■"
1140 NEXT I
1150 LOCATE 4,19:PRINT "ETAPA":LOCATE 4,28:PRINT "PRESION":LOCATE 4,38:PRINT "LE
CT.BOMBA":LOCATE 4,53:PRINT "TEMP. BOMBA"
1160 LOCATE 5,19:PRINT "-----":LOCATE 5,28:PRINT "-----":LOCATE 5,38:PRINT "---
-----":LOCATE 5,53:PRINT "-----"
1170 FOR I=18 TO ELI
1180 LOCATE I-12,19:PRINT I;LOCATE I-12,28:INPUT P(I);LOCATE I-12,38:INPUT LB(I)
:LOCATE I-12,53:INPUT TB(I)
1190 NEXT I
1200 CLS
1210 FOR I=5 TO 75
1220 LOCATE 3,I :PRINT "■"
1230 LOCATE 23,I:PRINT "■"
1240 NEXT I
1250 FOR I=3 TO 23
1260 LOCATE 1,5:PRINT "■"
1270 LOCATE 1,75:PRINT "■"
1280 NEXT I
1290 LOCATE 2,27:COLOR 31,13:PRINT " ==> DATOS DE LIBERACION DIFERENCIAL " ;COLO
R 7,0
1300 LOCATE 24,15:INPUT "Numero de etapas de liberacion diferencial ? ",ELD
1310 LOCATE 4,8:PRINT "ETP.":LOCATE 4,15:PRINT "PRES.":LOCATE 4,23:PRINT "Liegb"
:LOCATE 4,31:PRINT "Lfegb":LOCATE 4,39:PRINT "Liegg":LOCATE 4,46:PRINT "Lfegg":L
OCATE 4,53:PRINT "Teqb":LOCATE 4,59:PRINT "Tfegg":LOCATE 4,67:PRINT "SE"
1320 LOCATE 5,8:PRINT "-----":LOCATE 5,15:PRINT "-----":LOCATE 5,23:PRINT "-----
":LOCATE 5,31:PRINT "-----":LOCATE 5,39:PRINT "-----":LOCATE 5,46:PRINT "-----";
LOCATE 5,53:PRINT "-----":LOCATE 5,59:PRINT "-----":LOCATE 5,67:PRINT "-----"
1330 FOR I=1 TO ELD
1340 LOCATE I+5,7:PRINT I;LOCATE I+5,13:INPUT PD(I);LOCATE I+5,20:INPUT LIEBB(I)

```

```

:LOCATE I+5,29:INPUT LFEGB(I):LOCATE I+5,37:INPUT LIEGB(I):LOCATE I+5,44:INPUT L
FEGB:LOCATE I+5,51:INPUT TEBB(I):LOCATE I+5,57:INPUT TFEGB(I):LOCATE I+5,65:INPU
T SB(I)
1350 IF I=ELD THEN GOTO 1530
1360 IF I>= 16 THEN GOTO 1380
1370 NEXT I
1380 CLS
1390 FOR I=5 TO 75
1400     LOCATE 3,I :PRINT "■"
1410     LOCATE 23,I:PRINT "■"
1420 NEXT I
1430 FOR I=3 TO 23
1440     LOCATE I,5:PRINT "■"
1450     LOCATE I,75:PRINT "■"
1460 NEXT I
1470 LOCATE 4,8:PRINT "ETAPA":LOCATE 4,15:PRINT "PRESION":LOCATE 4,23:PRINT "Lie
gb":LOCATE 4,31:PRINT "Lfeqb":LOCATE 4,45:PRINT "Liegg":LOCATE 4,53:PRINT "Lfegg
":LOCATE 4,61:PRINT "Tegb":LOCATE 4,68:PRINT "Tfegg"
1480 LOCATE 5,9:PRINT "-----":LOCATE 5,16:PRINT "-----":LOCATE 5,28:PRINT "----
--":LOCATE 5,36:PRINT "-----":LOCATE 5,45:PRINT "-----":LOCATE 5,53:PRINT "-----
":LOCATE 5,61:PRINT "-----":LOCATE 5,68:PRINT "-----"
1490 FOR I=17 TO ELD
1500 LOCATE I-10,9:PRINT,I:LOCATE I-10,13:INPUT PD(I):LOCATE I-10,21:INPUT LIEGB
(I):LOCATE I-10,31:INPUT LFEGB(I):LOCATE I-10,41:INPUT LIEGB(I):LOCATE I-10,49:I
NPUT LFEGB(I):LOCATE I-10,56:INPUT TEBB(I):LOCATE I-10,61:INPUT TFEGB(I):LOCATE
I-10,67
1510 INPUT SB(I)
1520 NEXT I
1530 CLS
1540 FOR I=15 TO 65
1550     LOCATE 3,I :PRINT "■"
1560     LOCATE 23,I:PRINT "■"
1570 NEXT I
1580 FOR I=3 TO 23
1590     LOCATE I,15:PRINT "■"
1600     LOCATE I,65:PRINT "■"
1610 NEXT I: SOUND 800,3
1620 LOCATE 1,27:COLOR 31,13:PRINT " ==> DATOS DEL ENFRIAMIENTO ":COLOR 7,0
1630 LOCATE 4,17:INPUT "(1) Lect. inicial enfri. bomba =====>":LIEB:SOUND 200,1

1640 LOCATE 7,17: INPUT "(2) Lect. final enfri. bomba =====>":LIEB:SOUND 200,1
1650 LOCATE 10,17:INPUT "(3) Temp. final enfri. celda =====>":TFEC:SOUND 200,1

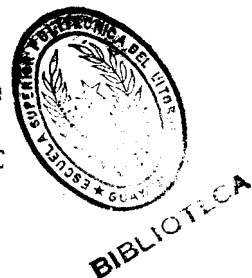
1660 LOCATE 13,17:INPUT "(4) Dens. petro. res. (grs/cm3) ===>":DOR:SOUND 200,1
1670 CLS:LOCATE 10,27:COLOR 31,13:PRINT"== EMPIEZA CALCULOS - IMPRIME ==":COLOR
7,0:FOR I=1 TO 800:NEXT I
1680 T1=(TITB+TFTB)/2:T2=(TITC+TFTC)/2:T3=(TICB+TFEB)/2
1690 DEF FNVRH(T)=1.0085*.0001*(T-60) + 25*1E-10*(T-60)^2 + 1
1700 DEF FNCH(T)=(2.72 + .0031*(T-60))*1.0000001
1710 VC1=VCC + (PT-PCC)*FCPC + (T2-TCC)*FCCT

```

```

1720 VM1=(LFTB-LITB)*FCB*(1+PCB*FNCHB(T1))
1730 VM2=(FNVRH6(T2)/FNVRH6(T1))*(1-PT*FNCHB(T2))
1740 VM=VM1*VM2
1750 VH6=VC1-VM;VH6EX=(LICB-LFC5)*FCB*(1+PCB*FNCHB(T3))*(FNVRH6(TFCC)/FNVRH6(T3))
*(1-PT*FNCHB(TFCC))
1760 EXH6 = VH6*((1+PT*FNCHB(TICC))*(FNVRH6(TFCC)/FNVRH6(TICC))*(1-PT*FNCHB(TFCC)
))-1)
1770 EXC=(TFCC-TICC)*FCCT;EXH=VH6EX+EXC-EXH6;VMTY=VM+EXH
1780 VH6TY=VH6+EXH6-VH6EX
1790 VCTY=VC1+EXC
1800 BETA=(2/(VM+VMTY))*(EXH/(TFCC-TICC))
1810 FOR I=1 TO EL1:STB=STB+TB(I);TBP=STB/EL1:NEXT I
1820 K1=FCB*(1+PCB*FNCHB(TBP))*(FNVRH6(TFCC)/FNVRH6(TBP))
1830 K2=VH6TY*FNCHB(TFCC)
1840 FOR I=1 TO EL1:DELB(I)=LB(I)-LB(I);COL4(I)=1- P(I)*FNCHB(TFCC);VH6E(I)=DELB
(I)*K1*COL4(I)
1850 EN6(I)=(P(I)-P(I))*FCCP;EHS(I)=(P(I)-P(I))*K2
1860 EH(I)=VH6E(I)-EN6(I)-EHS(I)
1870 VM(I)=VMTY+EM(I)
1880 VC(I)=VCTY-EN6(I):NEXT I
1890 FOR I=1 TO EL1
1900 VOLHB(I)=VH6TY-VH6E(I)+EHS(I);VREL(I)=VM(I)/VM(IPB)
1910 ' *** CALCULO DE LA COMPRESIBILIDAD DEL PETROLEO ***
1920 FOR J=2 TO IPB:CD(J)=(2*EM(J))/((VMTY+VM(J))*(P(I)-P(J))):NEXT J
1930 NEXT I;VHGAC=0!:K5=(PB*(TFCC+460))/520
1940 FOR I=2 TO ELD:DLFEBB(I)=LFE6B(I)-LFE6B(I-1):NEXT I;FOR I=1 TO ELD:COL5(I)=
(1-PD(I))*FNCHB(TFCC)
1950 VH6I(I)=DLFEBB(I)*K1*COL5(I);VHGAC=VHGAC+VH6I(I);DELP(I)=PD(I)-PD(I)
1960 ENCE(I)=DELP(I)*FCCP;VHGIC(I)=VOLHB(IPB)+VHGAC;EXH6(I)=VHGIC(I)*DELP(I)*FNC
H6(TFCC)
1970 V06D(I)=VM(IPB)-VHGAC-ENCE(I)-EXH6(I);DELE6B(I)=LFE6B(I)-LIE6E(I)
1980 K4=(14.7*520)/((TE6E(I)+460)*PB)
1990 V6EY(I)=DELE6B(I)*K1*COL5(I);V6PCB(I)=(LFE6B(I)-LIE6E(I))*K4;V6PCBAC=V6PCB
AC+V6PCB(I);IF PD(I)=0! THEN PD(I)=1
2000 V6PCBAC(I)=V6PCBAC
2010 V6IDY(I)=(V6PCB(I)*K5)/PD(I)
2020 D6P(I)=S6(I)*1.231094E-03;M6P(I)=V6PCB(I)*D6P(I)
2030 M6PAD(I)=M6PAD(I)+M6P(I);M6PAD(I)=M6PAD
2040 NEXT I
2050 H6IE=(LFEB-LIEB)*FCB*(1+PCB*FNCHB(TFEC))*(FNVRH6(TFCC)/FNVRH6(TFEC))
2060 VCCB=VCC-PC*FCCP + (TFCC-TCC)*FCCT;H6CB=VCCB-V06D(ELD)
2070 H6EN=H6CB*(1-(FNVRH6(TFEC)/FNVRH6(TFCC))):DEN=(TFCC-TFEC)*FCCT;DEN=H6IE-DEN
-H6EN
2080 VOR=V06D(ELD)-DEN;BOR=(2*DEN)/((V06D(ELD)+VOR)*(TFCC-TFEC))
2090 VORB=VOR*(1-(TFEC-60)*BOR)
2100 MOR=VOR*BOR
2110 FOR I=1 TO ELD;V6DCB(I)=V6PCBAC(ELD)-V6PCBAC(I);M6D(I)=M6PAD(ELD)-M6PAD(I)
2120 M6SD(I)=MOR+ M6D(I);RS(I)=(V6DCB(I)/VORB)*5.615;DELRS(I)=RS(I)-RS(I)
2130 BO(I)=V06D(I)/VORB;IF V6PCB(I)=0! THEN V6PCB(I)=1
2140 BS(I)=V6EY(I)/V6PCB(I);BT(I)=BO(I)+DELRS(I)*BS(I)
2150 DFCY(I)=M6SD(I)/V06D(I)
2160 IF V6IDY(I)=0! THEN V6IDY(I)=1;ZETA(I)=V6EY(I)/V6IDY(I):NEXT I

```



```

2170 LPRINT
2180 LPRINT SPC(23)"ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"
2190 LPRINT SPC(20)"FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA,MINAS Y PETROLEO"
2200 LPRINT CHR$(14)"LABYP LABORATORIO DE YACIMIENTOS Y PETROFISICA"
2210 LPRINT:PRINT SPC(31)"LIBERACION INSTANTANEA A :";TFCC,"^F"
2220 LPRINT
2230 LPRINT SPC(20)"COMPANIA/POZO :";CIA$,"/";W$
2240 LPRINT SPC(20)"FECHA :";D$
2250 LPRINT SPC(20)"TRABAJO N.-";T$
2260 LPRINT
2270 LPRINT SPC(18) "PRESION", "VOLUMEN REL.", "COMPRESIBILIDAD PET."
2280 LPRINT SPC(18) "(Lpc)", "(V/VSAT)", "(1/LPC*1E-06)"
2290 FOR I=1 TO ELI
2300 LPRINT SPC(18) P(I), VREL(I), CO(I)
2310 NEXT I:LPRINT:LPRINT
2320 LPRINT SPC(18) "PRESION DE SATURACION = ";P(IPB); "Lpc"
2330 LPRINT SPC(10)"COEF. DE EXPANSION TERMICA DE LA MUESTRA ORIGINAL = " :BETA;
"1/^F"
2340 LPRINT
2350 LPRINT SPC(23)"ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"
2360 LPRINT SPC(20)"FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA,MINAS Y PETROLEO"
2370 LPRINT CHR$(14)"LABYP LABORATORIO DE YACIMIENTOS Y PETROFISICA"
2380 LPRINT:PRINT SPC(31)"LIBERACION INSTANTANEA A :";TFCC,"^F"
2390 LPRINT
2400 LPRINT SPC(20)"COMPANIA/POZO :";CIA$,"/";W$
2410 LPRINT SPC(20)"FECHA :";D$
2420 LPRINT SPC(20)"TRABAJO N.-";T$
2430 LPRINT
2440 LPRINT SPC(11) "PRESION" SPC(11) "REL. GAS"SPC(7) "FACT. VOL." SPC(4)"DENSI
DAD"
2450 LPRINT SPC(29) "DIS.-PET" SPC(7) "DEL PET." SPC(7)"DEL PET."
2460 LPRINT SPC(11) "-----" SPC(10) "-----" SPC(7) "-----" SPC(4) "--
-----"
2470 LPRINT SPC(11) " (Lpc) " SPC(11) " (PCN/Bb) " SPC(7) "(Bb/Bb)" SPC(7) "(Gr
s/cm3)"
2480 FOR I=1 TO ELD
2490 LPRINT SPC(11) PD(I), RS(I), BD(I),DPCY(I)
2500 NEXT I:LPRINT:LPRINT
2510 LPRINT SPC(23)"ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"
2520 LPRINT SPC(20)"FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA,MINAS Y PETROLEO"
2530 LPRINT CHR$(14)"LABYP LABORATORIO DE YACIMIENTOS Y PETROFISICA"
2540 LPRINT:PRINT SPC(31)"LIBERACION INSTANTANEA A :";TFCC,"^F"
2550 LPRINT
2560 LPRINT SPC(20)"COMPANIA/POZO :";CIA$,"/";W$
2570 LPRINT SPC(20)"FECHA :";D$
2580 LPRINT SPC(20)"TRABAJO N.-";T$
2590 LPRINT
2600 LPRINT SPC(11) "PRESION" SPC(11) "FACT. DE"SPC(7) "FACT. VOL." SPC(4)"GRAVE
DAD"
2610 LPRINT SPC(29) "DESVIAC." SPC(7) "DEL GAS." SPC(7)"ESPECIF."
2620 LPRINT SPC(11) "-----" SPC(10) "-----" SPC(7) "-----" SPC(4) "--
-----"
2630 LPRINT SPC(11) " (Lpc) " SPC(11) " (adimen) " SPC(7) "(PC/PD)" SPC(7) "(a)

```

```
re=1 )"
2640 FOR I=1 TO ELD
2650 LPRINT SPC(11) PD(I), ZETA(I), BG(I),SG(I)
2660 NEXT I:LPRINT
2670 LPRINT SPC(10) "COEF. DE EXPANSION TERMICA DEL PETROLEO RESIDUAL = ";BOR;"1
/^F"
2680 LPRINT SPC(10) "DENSIDAD DEL PETROLEO RESIDUAL (Grs/cc3) = ";DOR
2690 END
```



PVTLAB 1.0  
-----

DIRECTOR : ING. RICARDO GALLEGOS O.  
OBJETIVO : CALCULO DE PARAMETROS P.V.T.  
AUTOR : CARLOS ANTONIO CASTILLO ARREAGA  
FECHA : 09/AGO/87

DIGITE ENTER PARA CONTINUAR

TRABAJO N. - ? LABYP-01

FECHA :? MAYO 1987

COMPANIA :? ESPOL

NOMBRE DEL POZO :? OBJETO

==> DATOS DE CALENTAMIENTO

- (1) Presion de traspaso (lpc) =====>? 5000 ■
- (2) Lect. inic. calent. bomba =====>? 177.183 ■
- (3) Lect. final calent. bomba =====>? 169.940 ■
- (4) Temp. inic. calent. bomba (^F) ==>? 80 ■
- (5) Temp. final calent. bomba (^F) ==>? 83 ■
- (6) Temp. inic. calent. celda (^F) ==>? 81 ■
- (7) Temp. final calent. celda (^F) ==>? 160 ■





==> DATOS GENERALES

- (1) Presion atmosferica (lpc) =====>? 14.65 ■
- (2) Presion normal (lpc) ----->? 14.70 ■
- (3) Temperatura normal (^F) =====>? 60 ■
- (4) Presion Calib. bomba (lpc) =====>? 5000 ■
- (5) Presion Calib. celda (lpc) =====>? 5000 ■
- (6) Temp. Calib. celda (^F) =====>? 80 ■
- (7) Fact. Calib. bomba (cc/div) =====>? 1.005 ■
- (8) Fact. Calib. celda (cc/^F) =====>? 0.015 ■
- (9) Vol. Calib. celda (cc) =====>? 660.044 ■
- (10) Fact. Calib. celda (cc/lpc) =====>? 0.00072 ■

==> DATOS DE TRASPASO

- (1) Presion de traspaso (lpc) =====>? 5000 ■
- (2) Lect. inic. trasp. bomba =====>? 94.865 ■
- (3) Lect. final trasp. bomba =====>? 174.245 ■
- (4) Temp. inic. trasp. bomba (^F) =====>? 80 ■
- (5) Temp. final trasp. bomba (^F) =====>? 80 ■
- (6) Temp. inic. trasp. celda (^F) =====>? 81 ■
- (7) Temp. final trasp. celda (^F) =====>? 81 ■

==> DATOS DE LIBERACION INSTANTANEA

Numero de etapas ,Indicador del punto de burbujeo ? 12.6

ETAPA	PRESION	LECT. BOMBA	TEMP. BOMBA
1	? 5000	? 169.940	? 83
2	? 4000	? 168.775	? 83
3	? 3000	? 167.575	? 83.5
4	? 2000	? 166.260	? 84
5	? 1500	? 165.470	? 84
6	? 1480	? 165.270	? 84
7	? 1470	? 164.750	? 85
8	? 1450	? 163.740	? 85
9	? 1300	? 155.780	? 86
10	? 1030	? 130.840	? 86
11	? 790	? 90.545	? 87
12	? 530	? 0.739	? 87

==> DATOS DE LIBERACION DIFERENCIAL

ETP.	PREC.	Liegb	Lfegb	Liegg	Lfegg	Tegb	Tfegg	CG	
1	? 1480 ?	165.199?	166.87?	0.00 ?	0.00 ?	80 ?	80	? 1.071	a
2	? 1400 ?	162.250?	168.87?	0.00 ?	620 ?	80 ?	80	? 1.090	
3	? 1300 ?	161.439?	171.11?	0.00 ?	890 ?	81 ?	81	? 1.095	
4	? 1200 ?	162.700?	173.29?	0.00 ?	885 ?	81 ?	81	? 1.123	
5	? 1100 ?	163.130?	176.33?	0.00 ?	880 ?	81 ?	81	? 1.150	□
6	? 900 ?	157.520?	179.60?	0.00 ?	1310 ?	81.5?	81.5	? 1.280	a
7	? 700 ?	155.610?	182.00?	0.00 ?	1224 ?	81.5?	81.5	? 1.240	
8	? 500 ?	150.320?	184.56?	0.00 ?	1150 ?	82 ?	e2	? 1.270	U
9	? 300 ?	137.770?	186.97?	0.00 ?	940 ?	82 ?	82	? 1.350	
10	? 100 ?	62.045 ?	189.52?	0.00 ?	790 ?	82 ?	82	? 1.644	U
11	? 0 ?	106.550?	169.52?	0.00 ?	850 ?	82 ?	82	? -----	

Numero de etapas de liberacion diferencial ?11





BIBLIOTECA

==> DATOS DEL ENFRIAMIENTO

- (1) Lect. inicial enfri. bomba =====>? 169.520 ■
- (2) Lect. final enfri. bomba =====>? 199.80 ■
- (3) Temp. final enfri. celda =====>? 82 ■
- (4) Dens. petro. res. (grs/cm3) ===>? 0.8712 ■

2RUN 3LOAD" 4SAVE" 5CONT 6,"LPT1 7TRON 8TROFF9KEY OSCREEN

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEO  
**LABYP      LABORATORIO DE YACIMIENTOS Y PETROFISICA**

LIBERACION INSTANTANEA A : 160 °F

COMPANIA/POZO : ESPOL /OBJETO  
 FECHA : SEPT/87  
 TRABAJO N. -LABYP01

PRECION (Lpc)	VOLUMEN REL. (V/VSAT)	COMPRESIBILIDAD PET. (1/LPC*1E-06)
5000	.9558951	0
4000	.9665439	1.107849E-05
3000	.9776055	1.122859E-05
2000	.9900059	1.168639E-05
1500	.9977423	1.22401E-05
1480	1	1.281237E-05
1470	1.005988	0
1450	1.017617	0
1300	1.108598	0
1030	1.397116	0
790	1.862746	0
530	2.901356	0

PRECION DE SATURACION = 1480 Lpc  
 COEF. DE EXPANCIION TERMICA DE LA MUESTRA ORIGINAL = 6.140603E-04 1/°F



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEO  
**LABYP      LABORATORIO DE YACIMIENTOS Y PETROFISICA**

LIBERACION DIFERENCIAL A : 160 °F

COMPANIA/POZO : ESPOL /OBJETO  
 FECHR : SEPT/87  
 TRABAJO N. -LABYP01

PRECION	REL. GAS DIS.-PET	FACT. VOL. DEL PET.	DENCIDAD DEL PET.
-----	-----	-----	-----
(Lpc)	(PCN/Bb)	(Bb/Bb)	(Grs/cm <sup>3</sup> )
1480	958.0474	1.631839	,6806815
1400	895.6096	1.593713	,6876024
1300	806.147	1.550961	,6927078
1200	717.187	1.509338	,6972985
1100	628.7295	1.451472	,7097317
900	497.1701	1.38879	,71518
700	374.2473	1.342529	,7149306
500	258.8628	1.293238	,7173362
300	164.5485	1.246772	,7216803
100	85.28422	1.197652	,7274233
1	0	1.575097	,5531087

## CAPITULO VI

### PRESENTACION DE INFORME TECNICO



#### 6.1 CONSIDERACIONES GENERALES

La forma de presentación aquí dada sigue los conceptos dados en el reporte 44 del Instituto Americano del Petróleo (primera edición) presentando uniformidad en la forma y secuencia de reportar los resultados del análisis similar como lo hace CEPE que ayudara a localizar rápidamente datos específicos o para determinar el grado de completitud del reporte.

Las siguientes páginas presentan los resultados de las características de una muestra de fondo tomada del pozo objeto en Mayo de 1987. La manera como se realizó el muestreo no puede ser detallado aquí, debido a que fue realizada por el personal de CEPE, pero detallamos el procedimiento en el laboratorio, el 21 de ~~junio~~ <sup>julio</sup> de 1987 se receiptó la muestra procediéndose a determinar la presión de saturación, 790 Lpcm a temperatura de laboratorio de 80°F, una porción de la muestra fue transferida a nuestro equipo de laboratorio para medirse las relaciones presión-volumen. Este muestra fue represionada para retornarla a una fase y se procedió a realizar la libera

ción diferencial en 11 etapas de presión. Una segunda porción de la muestra fue analizada en las relaciones presión-viscosidad a las mismas presiones que se realizó la liberación diferencial. Las pruebas en el separador fueron realizadas a las presiones de separador de 115 y 0 Lpcm a 100 y 80" F respectivamente,



## CAPITULO VI

### PRESENTACION DE INFORME TECNICO

#### 6.1 CONSIDERACIONES GENERALES.

La presentación está basada en el reporte 44 del Instituto Americano del Petróleo<sup>(14)</sup> (primera edición). Se presentan los resultados de las características de una muestra de fondo tomada del pozo objeto en Mayo de 1987.

El 21 de julio de 1987 se receiptó la muestra procediéndose a determinar la presión de saturación, la cual fue de 790 Lpcm a temperatura de laboratorio de 80°F. Una fracción de la muestra fue transferida a nuestro equipo de laboratorio para medir las relaciones presión-volumen. Esta muestra fue representada para asegurar la presencia de una fase y se procedió a realizar la liberación diferencial en 11 etapas. Una segunda fracción de la muestra fue utilizada para analizar las relaciones presión-viscosidad, a las mismas presiones que se realizó la liberación diferencial. Las pruebas en el separador fueron realizadas a las presiones de separador de 115 y 0 Lpcm y a las temperaturas de 100 y 80°F respectivamente.

6.2 DATOS VOLUMETRICOS



BIBLIOTECA

LABYP

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEO  
Laboratorio de yacimientos y petrofísica

Compañía: *ESPOL*

Trabajo N°: *LABYP01*

Pozo: *OBJETO*

Fecha : *Mayo 1987*

DATOS VOLUMETRICOS

Presión de saturación *1480* Lpcm a *160* °F

Expansión térmica del petróleo *0.06*

Volumen a *162* °F y *5000* Lpcm/volumen a *80* °F y *5000* Lpcm:

Relación gas-disuelto petróleo a *1480* Lpcm *928* PCY/BN

Factor vol. petróleo *1.55* B/BN

Viscosidad — CP

Densidad del petróleo *0.837* Grs/cm<sup>3</sup>

PETROLEO RESIDUAL

Gravedad (A.P. I.) *37.5*

Densidad a *60*°F *0.8712* Grs/cm<sup>3</sup>

OBSERVACIONES

6.3 RELACIONES DE PRESION Y VOLUMEN

L A B Y P

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEO

LABORATORIO DE YACIMIENTOS Y PETROFISICA

Compañía: *ESPOL*

Trabajo N° : *LABYP01*

Pozo: *OBJETO*

Fecha: *Mayo 1987*

RELACIONES DE PRESION Y VOLUMEN

Temperatura en celda: *160°F*

PRESION (Lpcm)	VOLUMEN RELATIVO	FUNCION "Y"	COMPRESIBILIDAD DEL <del>FLUIDO</del> (10 <sup>-6</sup> )
5000	0.956	-	10.98
4000	0.967	-	11.81
3000	0.978	-	12.50
2000	0.990	-	13.20
1480	1.00	-	15.45
1450	1.018	1.149	-
1300	1.109	1.270	-
910	1.627	0.999	-
530	2.901	0.942	-

## 6.4 LIBERACION DIFERENCIAL

L A B Y P

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEO

Laboratorio de yacimientos y petrofísica

Compañía: *ESPOL*

Trabajo N° : *LABYP01*

Pozo: *OBJETO*

Fecha : *Mayo 1987*

### LIBERACION DIFERENCIAL

Temperatura en celda: *160°F*

PRESION (Lpcm)	RELACION GAS DISUELTO-PET. (PCN/Bb)	FACTOR VOL. DEL PET. (BY/BN)	DENSIDAD DEL PET. (Grs/cm <sup>3</sup> )
5000	-	-	0.7908
4000	-	-	0.7818
3000	-	-	0.7731
2000	-	-	0.7636
1480	868	1.549	0.7560
1400	781	1.466	0.7893
1200	650	1.397	0.8132
900	482	1.209	0.9408
500	251	0.977	0.9600
100	83	0.696	0.9650
0	0	-	0.980

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Realizada la calibración de la celda se encontraron las siguientes constantes :
  - \* Factor de calibración de la bomba =  $1.015 \text{ cm}^3/\text{división}$
  - \* Ecuación de variación del volumen por presión en función de la temperatura :
$$F_{ccp} = 2.392 \times 10^{-4} - 9.711 \times 10^{-7} \times (T) \text{ cm}^3/\text{Lpc}$$
  - \* Constante de la variación del volumen para la celda por efecto de temperatura =  $0.0574 \text{ cm}^3/^{\circ}\text{F}$Estos valores permanecerán constante mientras no existan cambios en la celda PVT y en bomba de desplazamiento.
2. La presión de saturación para el petróleo crudo analizado y a la temperatura del yacimiento de  $160^{\circ}\text{F}$ , fue de 1480 Lpcm; mientras que la presión obtenida por CEPE para el proyecto fue de 1470 Lpcm, el cual resulta ser aceptable.
3. Se ha desarrollado un manual de usuario que involucra la calibración, mantenimiento y operación de la celda P.V.T.

4. Se optimizó el proceso de cálculo a través de un programa de cómputo escrito en lenguaje BASIC.
5. Se deberá calibrar nuevamente el sistema CELDA-BOMBA, en caso de realizar un mantenimiento a la celda y/o cambio de accesorios.
6. Se recomienda que la persona que realiza el análisis P.V.T. en el laboratorio deberá también tomar la muestra de hidrocarburos en el lugar; la cual debe ser tomada antes de que exista una pérdida de presión significativa en el yacimiento.
7. Con la finalidad de establecer consistencia entre los datos relativos a los factores volumétricos del yacimiento, previo al análisis P.V.T. en el laboratorio, se debe establecer la diferencia entre los dos procesos de liberación, así como entre petróleo cercano al punto crítico y petróleo negro.
8. En caso de trabajos eventuales es recomendable dejar con aproximadamente 100 Lpcm para evitar efectos de expansión o compresión en el sistema, a las condiciones normales de presión y temperatura; mientras que para trabajos periódicos de recepción de muestras en intervalos de 1 a 2 semanas, se debe encerrar el sistema a 14.7 Lpcm.



BIBLIOTECA

A N E X O S



## ANEXO A

### DENSIDAD, COMPRESIBILIDAD Y VOLUMEN RELATIVO DEL MERCURIO

El mercurio es un metal líquido a temperatura ambiente y esta propiedad hace que tenga numerosas aplicaciones industriales siendo un elemento muy bien conocido por la ciencia.

La Tabla 1, muestra valores de densidad del mercurio en función de la temperatura.

Los valores de compresibilidad y volumen relativo del mercurio a diferentes temperaturas se calculan por medio de las siguientes ecuaciones según el sistema de unidades que se utilice:

En el sistema internacional (S.I.)

$$\text{ChgT} = 79.335 \cdot 10^{-10} \cdot (T - 15.5) + 3.903 \cdot 10^{-6}$$

$$\epsilon_T = 1 + 1.821 \cdot 10^{-4} \cdot (T - 15.5)$$

En el sistema inglés

$$\text{ChgT} = \{2.72 + 0.0031 \cdot (T - 60)\} \cdot 10^{-7}$$

$$\epsilon_T = 1 + 1.008 \cdot 10^{-4} \cdot (T - 60) + 25 \cdot 10^{-10} \cdot (T - 60)^2$$

donde

ChgT : es la Compresibilidad del mercurio a una temperatura T.

$\epsilon_T$  : es el volumen relativo del mercurio a una temperatura T.

Estas ecuaciones tienen como temperatura base o normal de 60°F(15.5°C) según el sistema que esté empleando.



TABLA I

DENSIDAD DEL MERCURIO



Temperatura °C	Densidad grs./c.cu.	Temperatura °C	Densidad grs./c.cu.
-10	13,6202	30°	13,5217
- 9	6177	31	5193
- 8	6152	32	5168
- 7	6128	33	5144
- 6	6103	34	5119
- 5	13,6078	35	13,5095
- 4	6053	36	5070
- 3	6029	37	5046
- 2	6004	38	5021
- 1	5979	39	4997
0	13,5955	40	13,4973
1	5930	50	4729
2	5906	60	4486
3	5881	70	4244
4	5856	80	4003
5	13,5832	90	13,3762
6	5807	100	3522
7	5782	110	3283
8	5758	120	3044
9	5733	130	2805
10	13,5708	140	13,2567
11	5664	150	2330
12	5659	160	2093
13	5634	170	1856
14	5610	180	1620
15	13,5585	190	13,1384
16	5561	200	1148
17	5536	210	0913
18	5512	220	0678
19	5487	230	0443
20	13,5462	240	13,0209
21	5438	250	12,9975
22	5413	260	9741
23	5389	270	9507
24	5364	280	9273
25	13,5340	290	12,9039
26	5315	300	8806
27	5291	310	8572
28	5266	320	8339
29	5242	330	8105
30	13,5217	340	12,7872
		350	7638
		360	7405

TABLA II

VARIACION DE LA COMPRESIBILIDAD DEL MERCURIO  
EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

Temp. de	Grados									
10 en 10°F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	2,716	2,719	2,722	2,725	2,728	2,732	2,735	2,738	2,741	2,744
70	2,747	50	53	56	59	63	66	69	72	75
80	2,778	81	84	87	90	94	97	<u>2,800</u>	03	06
90	2,809	12	15	18	21	25	28	31	34	37
100	2,840	43	46	49	52	56	59	62	65	68
110	2,871	74	77	80	83	87	90	93	96	99
120	<u>2,902</u>	05	08	11	14	18	21	24	27	30
130	2,933	36	39	42	45	49	52	55	58	61
140	2,964	67	<u>70</u>	73	76	80	83	86	89	92
150	2,995	98	3,001	04	07	11	14	17	20	23
160	3,026	29	32	35	38	42	45	48	51	54
170	3,057	60	63	66	<u>69</u>	73	76	79	82	85
180	3,088	91	94	97	3,100	04	07	10	13	16
190	3,119	22	25	28	31	35	38	41	44	47
200	3,150	53	56	59	62	66	<u>69</u>	72	75	78
210	3,181	84	87	90	93	97	3,200	03	06	09
220	3,212	15	18	21	24	28	31	34	37	40
230	3,243	46	49	52	55	59	62	65	68	71
240	3,274	77	80	83	86	90	93	96	99	3,302
250	3,305	08	11	14	17	21	24	27	30	33
260	3,336	39	42	45	48	52	55	58	61	64
270	3,367	70	73	76	79	83	86	89	92	95
280	3,398	<u>3,401</u>	04	07	10	14	17	20	23	26
290	3,429	32	35	38	41	45	48	51	54	57
300	3,460	63	66	69	72	76	79	82	85	88



TABLA III

VARIACION DEL VOLUMEN RELATIVO DEL MERCURIO  
EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

Temp.de	Grados									
	10 en 10°F.	0	1	2	3	4	5	6	7	8
60	1,000000	0101	0202	0303	0404	0504	0605	0706	0807	0908
70	1009	1110	1211		1413	1513	1614	1715	1816	1917
80	2018	2119	2220	2321	2422	2523	2624	2725	2826	2927
90	3028	3129	3230	3331	3432	3533	3634	3735	3836	3937
100	4038	4139	4240	4341	4443	4544	4645	4746	4847	4948
110	5049	5750	5251	5352	5453	5555	5656	5757	5858	5959
120	6060	6161	6263	6364	6465	6566	6667	6768	6870	6971
130	7072	7173	7274	7376	7577	7578	7679	7780	7882	7983
140	8084	8185	8287	8388	8469	8590	8692	8793	8894	8996
150	9097	9198	9299	9401	9502	9603	9705	9806	9907	*0009
160	1,010110	0211	0313	0414	0515	0617	0718	0820	0921	1022
170	11124	1225	1326	1428	1529	1631	1732	1834	1935	2036
180	i 12138	2239	2341	2442	2544	2645	2747	2848	2949	3051
190	12152	3252	3355	3457	3558	3660	3761	3863	3964	4066
200	14167	4269	4371	4472	4574	4675	4777	4878	4980	5081
210	15183	5285	5386	5488	5589	5691	5793	5894	5996	6097
220	16199	6301	6402	6504	6606	6707	6809	6911	7012	7114
230	17216	7317	7419	7521	7622	7724	7826	7929	8029	8131
240	18233	8334	8436	8538	8640	8741	8843	8945	9047	9148
250	19250	9352	9454	9555	9657	9759	9861	9963	*0064	*0166



BIP

## ANEXO B

### COMPROBACION DEL ESTADO DE LA MUESTRA

Al recibirse en el laboratorio las botellas con muestras, debe registrarse con el nombre del pozo, tipo y características externas de la misma. Es necesario determinar la presión de saturación de la muestra con objeto de verificar sino se ha presentado alguna fuga de fluídos que altere la composición original.

La presión debe ser semejante a la obtenida en el muestreo teniendo en cuenta la diferencia de temperatura. En las operaciones de comprobación se emplea una bomba de desplazamiento, la cual se acciona manualmente o con un motor. Está provista de un manómetro y una escala graduada; y cuenta con un soporte móvil donde se coloca la botella en el cual es posible agitarla con facilidad.

La descarga de la bomba, se conecta a la válvula inferior de la botella purgando el aire de la línea usada en la conexión y probándola a la presión de trabajo. Se abre la válvula inferior a la botella y se registra la presión de apertura.

Para obtener la presión de saturación en la botella, primero se aplica hasta la válvula inferior de la misma, una presión mayor a la presión dejada durante el traspaso



en el campo. A continuación se abre la válvula y se comunica la presión al interior de la botella anotándose la presión observada, se cierra la válvula y se agita la botella para homogenizar la muestra; se abre la válvula y se anota tanto la presión registrada en el manómetro como la lectura del volumen inyectado, en la escala de la bomba.

Esta operación se repite hasta alcanzar una presión mayor que la de saturación, observándose que a pequeños volúmenes de mercurio inyectado corresponde un aumento de presión mucho mayor que cuando se encuentran abajo de la presión de saturación.

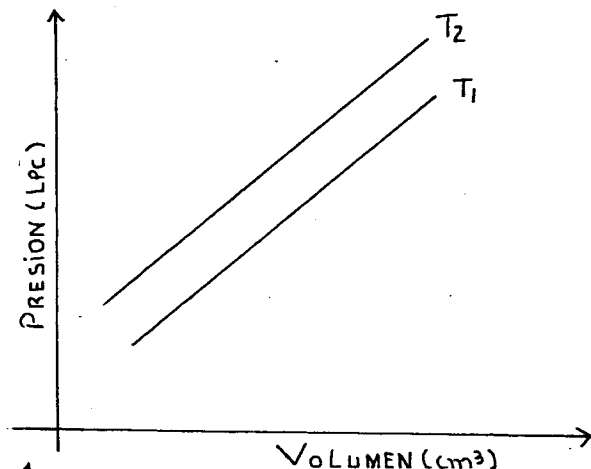
Los valores obtenidos de presiones vs. lecturas de volúmenes de mercurio inyectados se anotan y grafican simultáneamente. Los puntos graficados se alinean en dos rectas y la intersección corresponde a la presión de saturación a la temperatura ambiente.



### ANEXO C

#### DEDUCCION DE LA ECUACION DE VOLUMEN EN FUNCION DE LA PRESION Y LA TEMPERATURA

Un gráfico de volumen versus presión tal como se ilustra a continuación es:



La ecuación de la recta a la temperatura  $T_1$  es :

$$V_{T_1} = a + b \cdot P$$

La ecuación de la recta a la temperatura  $T_2$  es:

$$V_{T_2} = a' + b' \cdot P$$

Para cualquier cambio de presión, el cambio de volumen con el cambio de temperatura se expresa así :

$$\frac{\Delta V}{\Delta T} \approx \frac{V_{T_1} - V_{T_2}}{T_1 - T_2}$$

Así podemos conocer el volumen a cualquier presión y temperatura como :

$$V_T = V_{T_1} + (T - T_1) \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad ; \quad T_1 < T < T_2$$

Resolviendo algebraicamente:

$$V_T = V_{T_1} + \frac{V_{T_1} - V_{T_2}}{T_1 - T_2} * (T - T_1)$$

$$V_T = a + b * P + \frac{(a + b * P - a' - b' * P)}{T_1 - T_2} * (T - T_1)$$

$$V_T = a + b * P + \frac{a - a'}{T_1 - T_2} + \frac{b - b'}{T_1 - T_2} * P * T - \frac{a - a'}{T_1 - T_2} + \frac{b - b'}{T_1 - T_2} * P * T$$

$$V_T = a - \frac{a - a'}{T_1 - T_2} * T_1 + \frac{a - a'}{T_1 - T_2} * T + b - \frac{b - b'}{T_1 - T_2} * T_1 * P + \frac{b - b'}{T_1 - T_2} * P$$

Definiendo variables.

$$A = a - \frac{a - a'}{T_1 - T_2} * T_1$$

$$C = b - \frac{b - b'}{T_1 - T_2} * T_1$$

$$B = \frac{a - a'}{T_1 - T_2}$$

$$D = \frac{b - b'}{T_1 - T_2}$$

Reemplazando estas variables para hacer de la última ecuación una ecuación general.

$$V_T = A + B * T + (C + D * T) * P$$



## BIBLIOGRAFIA



BIBLIOTECA

1. J.M. Amyx, D.M. Bass and R.L. Witing "Petroleum Reservoir engineering" (1978), pp. 67-70.
2. B.C. Craft, M.F. Hawkins "Applied petroleum reservoir engineering" (Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1959).
3. N. J. Clark "Adjusting oil sample data for reservoir studies" Journal of petroleum technology (febrero 1962), pp. 143-149.
4. L. P. Dake, Fundamentals of reservoir engineering (1978), pp. 67-70).
5. T. Mendez, Notas del entrenamiento realizado en el Instituto Mexicano del Petróleo, México D. F., Marzo-Septiembre 1985.
6. P. L. Moses, "Engineering applications of phase behavior of crude oil and condensate systems", Journal of petroleum technology (Julio 1986), pp. 715-723.
7. M. Padilla, "Análisis PVT en yacimientos de aceite y gas disuelto, importancia y aplicación en la ingeniería de yacimientos" (Tesis, Instituto Politécnico Nacional, Mexico D. F., 1970).



8. J. Poma, Seminario de análisis P.V.T. (Guayaquil : ESPOL, Mayo 1986).
9. ROP S.A., "Etudes thermodynamiques et mesures P.V.T.", Lannais-Francia, 1976.
10. Ruska Instrument Corporation, "Visual liquid phase PVT cell" Operating manual, Houston, Texas (Agosto 1974).
11. Ruska Instrument Corporation, "Constant temperature oil bath" Operating manual, Houston, Texas (Agosto 1974).
12. Ruska Instrument Corporation, "General catalog", Ruska Instrument Corporation, Houston, Texas, 1982.
13. Sargent Welch Scientific Company, Manual de bombas de vacío, Illinois, 1970, pp. 13.
14. API RP 44, API recommended practice for sampling petroleum reservoir fluids (primera edición; Dallas, Texas, American Petroleum Institute (febrero 1966).
15. N. I. Sax, "Handbook of dangerous materials", Reinhold Publishing Co., New York, 1951.

16. H. Roman, "Análisis del comportamiento de la viscosidad de crudos a condiciones de yacimiento y superficie" (Tesis profesional, ESPOL, 1985).
17. "Recipientes y sistemas de presión en laboratorios de investigación" Data Sheet 1-678-79 del NSC.
18. American Society of Mechanical Engineers (ASME), Boiler and pressure vessel code.

