



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

CALCULO DE LOS PARÁMETROS DE INGENIERIA DE YACIMIENTOS
MEDIANTE ANÁLISIS DE PRESION, VOLUMEN Y TEMPERATURA (P.V.T):
MANUAL DE RECALIBRACION Y APLICACION OPERACIONAL DE LOS
EQUIPOS DE LA CELDA PVT DEL LABORATORIO DE PETROLEOS DE LA
FICT-ESPOL”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de :

INGENIERO EN PETROLEO

Presentada por:

JAVIER ZHUNIO GONZALEZ
JAVIER RUMIPAMBA MENDEZ

GUAYAQUIL-ECUADOR

2001

AGRADECIMIENTO

A todos los profesores de la Carrera, puesto que gracias a sus sabios conocimientos formaron en nosotros un criterio apropiado acerca del maravilloso mundo de la INGENIERIA DE PETROLEOS.

Al Ingeniero Julio Orozco e Ingeniero Salomón Lascano, del Laboratorio de Petroproducción, por su colaboración para la realización de esta Tesis.

Y de manera especial al Ingeniero Ricardo Gallegos Orta, Director de Tesis.

DEDICATORIA

A mi padre, por su apoyo incondicional durante mis años de estudio.

Y en especial al ser más maravilloso que con su legado de dedicación y perseverancia, vive y vivirá para siempre en mi vida.

MI MAMA

DEDICATORIA

A mis padres:
Manuel, Regina y
hermanos: Patricia,
David, Cecilia por
su valiosa ayuda y
comprensión durante
todo este tiempo de
preparación

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

ING. EDISON NAVARRETE C.
DECANO FICT

ING. RICARDO GALLEGOS O.
DIRECTOR DE TESIS

ING. GABRIEL COLMONT M.
VOCAL

ING. HEINZ TERAN M.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la “ ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

JAVIER RUMIPAMBA MENDEZ
Autor de la Tesis

JAVIER ZHUNIO GONZALEZ
Autor de Tesis

RESUMEN

En este trabajo se presenta la rehabilitación de los equipos para el método de análisis P.V.T (presión, volumen, temperatura) en sistemas “petróleo-gas disuelto de bajo encogimiento”, disponible en el Laboratorio de Yacimientos y Petrofísica de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT), abarcando: conceptos básicos, la parte experimental y el procedimiento de cálculo tanto a mano como computarizado.

En la parte experimental, se hace una descripción de la condición en que se encontró tanto la celda PVT y los equipos auxiliares, después de un largo tiempo de haber permanecido sin funcionamiento en el Laboratorio de Yacimientos y Petrofísica, de igual manera se describe la recalibración del equipo principal y auxiliar que se utiliza, y de las operaciones detalladas para efectuar un análisis PVT en muestras representativas de tales sistemas, para lo cual se utilizó una muestra de un pozo que pertenece a uno de los campo de Petroproducción.

El procedimiento de calculo 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 procesar dichos datos y obtener las características de los fluidos.

Además se explica el procedimiento de cálculo usando el sistema de tabulación por ser más didáctico. Finalmente se presenta un programa de computo, elaborado en este estudio, para el procesamiento de los datos, presentación de los resultados en tablas y gráficos.

Los principales resultados que se obtuvieron con una celda PVT marca RUSKA en el Laboratorio de Petroproducción en Quito y los que se obtuvieron en la celda de la

misma marca, en el Laboratorio de Yacimientos y Petrofísica de la FICT-ESPOL, fueron las siguientes:

	Pb	β_o	β_g	Rs
Lab. Petroproducción	330	1.465	0.077	192.974
Lab. FICT- ESPOL	330	1.55249	0.09573	226.690

Estos resultados tienen una diferencia entre sí del +/- 5 %, lo cual nos permite concluir que el funcionamiento de la celda PVT es aceptable dentro de los parámetros de error en la comparación de los resultados para ambos equipos.

Para la realización exitosa de un análisis PVT con el equipo disponible en el Laboratorio de Yacimientos y Petrofísica de la FICT-ESPOL, se debe considerar varias recomendaciones principales:

- Tomar todas las precauciones para el uso del mercurio.
- Evitar fuga de la muestra en la botella y durante el proceso de traspaso.
- Los manómetros deben ser previamente calibrados y encerados de acuerdo al dial de la bomba de desplazamiento.
- Controlar continuamente el incremento de presión en la celda PVT durante el proceso de calentamiento y evitar un accidente.
- Tabular correctamente los datos que se obtengan.

INDICE GENERAL

RESUMEN

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS.

SIMBOLOGIA

INTRODUCCIÓN

1. CONCEPTOS BASICOS

1.1 Que es un análisis PVT.....	21
1.2 Que aporta un análisis PVT.....	21
1.3 Clasificación de los yacimientos de acuerdo al diagrama de fases	
1.3.1 Tipos de Yacimientos en el Ecuador.....	26
1.4 Propiedades físicas de los hidrocarburos. Factores de volumen	27
1.5 Simulación de la producción.	38
1.5.1 Liberación instantánea.....	39
1.5.2 Liberación diferencial.....	40
1.6 Métodos de muestreo.....	43

2. EQUIPOS DE LA CELDA PVT DE LA FICT.

2.1 Instalación de los equipos: Área, Seguridad y Prevención para el uso el mercurio.....	49
2.2 Bombas de desplazamiento volumétrico.....	53

2.2.1 Estado de la bomba.....	55
2.2.2 Preparación de la bomba.....	56
2.2.3 Precauciones y consideraciones para su uso.....	57
2.2.4 Interpretación de las medidas en volumen.....	57
2.3 Celda PVT	
2.3.1 Estado de la celda.....	64
2.3.2 Preparación de la celda.....	65
2.3.3 Ventana de vidrio para visualizar el proceso de liberación de gas.....	65
2.3.4 Tipos de sellos.....	70
2.3.5 Instalación y prueba de la ventana.....	76
2.3.6 Baño de temperatura constante.....	79
2.3.7 Panel de controles	82
2.4 Equipo auxiliar.....	84
2.4.1 Bomba de vacío.....	84

3. RECALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS PVT DE LA FICT.

3.1 Recalibración de las bombas de desplazamiento	
3.1.1 Preparación de la bomba de desplazamiento.....	86
3.1.2 Recalibración de la bomba de desplazamiento.....	87
3.2 Recalibración de la celda.....	93
3.2.1 Preparación de la celda.....	93
3.2.2 Determinación de la capacidad de la celda.....	94
3.2.3 Variación del volumen de la celda con la presión	96

3.2.4 Variación del volumen de la celda con temperatura	102
3.2.5 Presentación de resultados de la calibración	104

4. ERRORES DE MEDICION

4.1 Generalidades sobre los errores	106
4.2 Clasificación de los errores en las mediciones.....	107
4.2.1 Errores sistemático.....	107
4.2.2 Errores casuales o de azar.....	108
4.3 Determinación de los errores para resultados de mediciones directas.....	108
4.3.1 Valor medio de una magnitud medida.....	108
4.3.2 Errores absolutos.....	109
4.3.3 Valor medio del error absoluto.....	109
4.3.4 Error relativo.....	111

5. ANÁLISIS PVT: PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN

5.1 Métodos de muestreo	113
5.2 Determinación del estado de la muestra.....	116
5.3 Traspaso de la muestra a la celda.....	117
5.3.1 Limpieza del equipo.....	117
5.3.2 Prueba de fugas.....	118
5.3.3 Prueba de vació.....	118
5.4 Calentamiento de la muestra a temperatura de yacimiento.....	121

5.5 Liberación instantánea.....	123
5.6 Liberación Diferencial.....	125

6. CALCULOS MANUALES Y COMPUTARIZADOS

6.1 Documento de las hojas de calculo	129
6.2 Diagrama de flujo.....	157
6.3 Descripción del programa	161

7. PRESENTACIÓN DEL INFORME TÉCNICO

7.1 Consideraciones generales	165
7.2 Datos volumétricos.....	166
7.3 Relaciones de presión y volumen	167
7.4 Liberación diferencial.....	168
7.5 Cromatografía del gas @ (200, 100, 50, 0) Lpc.....	169

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	190
---	------------

ANEXOS

Manual de recalibracion y prueba PVT.....	I
Tablas de densidad, compresibilidad y volumen relativo del mercurio.....	II

BIBLIOGRAFÍA

INDICE DE FIGURA, TABLAS Y ANEXOS

FIGURAS :

Fig. 1.1 Diagrama de Fases.....	24
Fig. 1.2 Variación del Volumen Relativo Vs Presión.....	28
Fig. 1.3 Variación del Factor de Volumen Total del Petróleo Vs.Presión.....	30
Fig. 1.4 Variación del Factor del Volumen del Gas Vs. Presión.....	31
Fig. 1.5 Variación de la Relación Gas Disuelto Vs. Presión.....	32
Fig. 1.6 Variación de la Gravedad Especifica del Gas Vs Presión.....	35
Fig. 1.7 Variación de la Densidad del Petróleo Vs Presión.....	37
Fig. 1.8 Liberación Instantánea.....	39
Fig. 1.9 Liberación Diferencial.....	41
Fig. 2.1 Diagrama Presión - Temperatura.....	58
Fig. 2.2 Partes y Componentes de la Celda PVT.....	62

Fig. 2.3 Vista Frontal de la Ventana Armada.....	67
Fig. 2.4 Sello Áro de Sección Cuadrada.....	71
Fig. 2.5 Sello Compuesto.....	73
Fig. 2.6 Sello Resina Fenolica.....	75
Fig. 2.7 Vista Frontal del Panel de Controles.....	82
Fig. 5.1 Esquema de un Muestreo de Fondo.....	115
Fig. 5.2 Disposición de los Equipos Durante el Traspaso.....	120
Fig. 5.3 Disposición de los Equipos Durante el Calentamiento.....	122
Fig. 5.4 Disposición de los Equipos para la Liberación Diferencial.	127
Fig. 6.1 Calculo de los Volúmenes de la Muestra a Condiciones de Yacimientos.....	158
Fig. 6.2 Calculo del Coeficiente de Expansión Térmica de la Muestra.....	159
Fig. 6.3 Calculo de Compresibilidad y Volumen Relativo de la Muestra.....	160

TABLAS:

1. Hoja de Recalibración de Bomba.....	89
2. Hoja de Recalibración de Celda.....	95
3. Variación del Volumen de la Celda con Presión @ 82 °F.....	98
4. Variación del Volumen de la Celda con Presión @ 160 °F.....	99
5. Variación del Volumen de la Celda con Presión @ 200 °F.....	100
6. Variación del Volumen de la Celda con Presión @ 222 °F.....	101
7. Expansión Debido a la Temperatura.....	103
8. Cálculos en la Liberación Instantánea.....	141
9. Cálculos en la Liberación Diferencial	153
10. Datos Volumétricos.....	166
11. Relación de Presión y Volumen	167
12. Relación de Presión y Volumen en la Liberación Diferencial....	168

ANEXOS:

Manual de Recalibración y Operación de la celda PVT.....	I
Densidad, Compresibilidad y Volumen Relativo del Mercurio.....	II
Variación de la Compresibilidad del Mercurio en Función de la Temperatura.....	II
Densidad del Mercurio en Función de la Temperatura.....	II

Variación del Volumen Relativo del Mercurio en Función de la
Temperatura

.....**II**

SIMBOLOGIA

Po : presión atmosférica en el lugar

Pb : presión base o normal

Tb : temperatura base o normal

Pcb : presión de calibración de bomba

Pcc : presión de calibración de celda

Tcc : temperatura de calibración de celda

Fcb : factor de calibración de bomba

Fcct : factor de calibración de celda por temperatura

Fccp : factor de calibración de celda por presión

Vcc : volumen de calibración de celda

DATOS DEL TRASPASO

Pt : presión de traspaso

Litb : lectura inicial de traspaso de bomba

Lftb : lectura final de traspaso de bomba

Titb : temperatura inicial de traspaso de bomba

Tftb : temperatura final de traspaso de bomba

Titc : temperatura inicial de traspaso de celada

Tftc : temperatura final de traspaso de celda

DATOS DEL CALENTAMIENTO

Pt : presión de traspaso

Licb : lectura inicial de calentamiento de bomba

Lfcb : lectura final de calentamiento de bomba

Ticb : temperatura inicial de calentamiento de bomba

Tfcb : temperatura final de calentamiento de bomba

Ticc : temperatura inicial de calentamiento de celda

Tfcc : temperatura final de calentamiento de celda

DATOS DE LIBERACION INSTANTÁNEA

P : presión del sistema

Lb : lectura en bomba

Tb : temperatura en bomba

DATOS DE LA LIBERACION DIFERENCIAL

P : presión del sistema a partir del punto de burbujeo

Liegb : lectura inicial de extracción de gas en la bomba

Lfegb : lectura final de extracción de gas en la bomba

Liegg : lectura inicial de extracción de gas en el gasómetro

Lfegg : lectura final de extracción de gas en el gasómetro

Tegb : temperatura de extracción de gas en bomba

Tfegg : temperatura final de extracción de gas en el gasómetro

GE : gravedad específica del gas extraído

INTRODUCCIÓN

Como esquema de trabajo se realizó 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 recalibración-operación de la celda P.V.T (presión, volumen y temperatura) del Laboratorio de Yacimientos y Petrofísica de la Facultad de Ingenierías en Ciencias de la Tierra de la ESPOL, la misma que servirá para las 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 él 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.

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

Cambios considerables en el volumen y las propiedades del mismo, hacen 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. Es por este

motivo que el presente trabajo esta encaminado a dar los conocimientos básicos y prácticos para el manejo de la celda P.V.T. así como también la conversación de los datos obtenidos en el laboratorio a parámetros aplicados a la Ingeniería de Petróleos y predecir el comportamiento del yacimiento.

CAPITULO I

CONCEPTOS BASICOS

1.1 QUE ES UN ANÁLISIS PVT

Se llama análisis P.V.T al conjunto de pruebas que se realizan en el laboratorio para simular las condiciones de Yacimiento (Presión, Volumen y Temperatura) y poder determinar las propiedades de los fluidos en un yacimiento petrolífero. Las pruebas de laboratorio se realizan basándose en que dos procesos termodinámicos diferentes ocurren al mismo tiempo:

La separación instantánea de los fluidos(Petróleo y Gas) en la superficie durante la producción y la separación diferencial de los fluidos en el yacimiento durante la declinación de presión.

1.2 QUE APORTA UN ANÁLISIS PVT

Se realiza un análisis PVT a una muestra representativa del un yacimiento petrolífero, con el objetivo de poder determinar las propiedades de los fluidos en este yacimiento.

En la prueba de separación instantánea se obtiene las propiedades de los fluidos en función de presión para presiones por encima de la presión de burbujeo, tales como factor volumétrico del petróleo (B_o), densidad del petróleo (ρ_o), compresibilidad del petróleo (C_o), etc

De los datos de la liberación diferencial podemos calcular la solubilidad del gas en el petróleo (R_s), factor volumétrico del petróleo (B_o), densidad del petróleo (ρ_o), la composición, gravedad, compresibilidad del gas (z), factor volumétrico del gas liberado (B_g), etc.

En el análisis PVT se reporta también el comportamiento de la viscosidad del petróleo a condiciones de temperatura del yacimiento. Esto se hace en laboratorio utilizando un viscosímetro tipo “esfera rodante”.

1.3 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 solo 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 en 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 cercanos al punto crítico.

Debido a la composición del hidrocarburo 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.

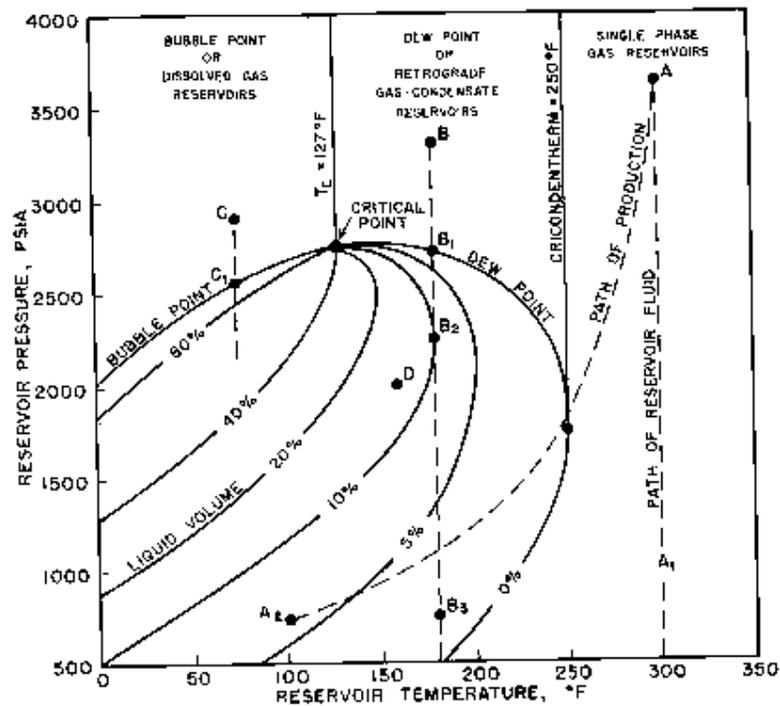


Fig. 1.1 DIAGRAMA DE FASES

Obsérvese la Fig. N° 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 esta 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 “CONDENSACIÓN RETROGRADA” 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 resultara 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 crítica. Durante el proceso de producción su composición permanecerá 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 rocío pudiendo ser retrogrado.

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

- 1.- Yacimiento de gas: (punto A).
- 2.- Yacimiento de condensación retrograda (punto B).
- 3.- yacimiento bajo saturado (punto C)
- 4.- Yacimientos localizados en el punto D (región de dos fases). La fase líquida producirá como un yacimiento de gas indicado en (1) y (2).

1.3.1 TIPOS DE YACIMIENTOS DEL ECUADOR

Los yacimientos más importantes están en la Cuenca Oriental donde aun se explora y se explota petróleo, en la Península de Santa Elena, Golfo de Guayaquil, y en la 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 fluido total del yacimiento.

Básicamente el petróleo producido en la Cuenca Oriental proviene de dos formaciones: Formación Napo y Formación 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 pie³/BN, gravedad del petróleo media 30° API, temperatura 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 pie³/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 mas 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.

1.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS HIDROCARBUROS. FACTORES DE VOLÚMENES.

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, indispensables par 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 del 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

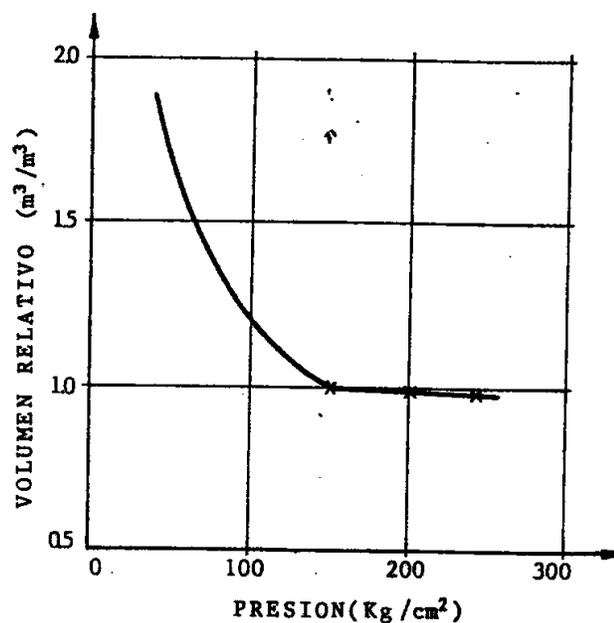


Fig. No 1.2 VARIACIÓN DEL VOLUMEN RELATIVO VERSUS LA PRESION

b) FACTOR DE VOLUMEN BIFÁSICO.

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.

$$\mathbf{Bt = Vt / Vor}$$

Donde:

Bt = Factor de Volumen Bifásico.

Vt = Volumen Total.

Vor = 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.

$$\mathbf{Bo = Vo / Vor}$$

Donde :

B_o = Factor de Volumen del Petróleo.

V_o = Volumen de Petróleo + Gas Disuelto.

V_{or} = Volumen de petróleo residual.

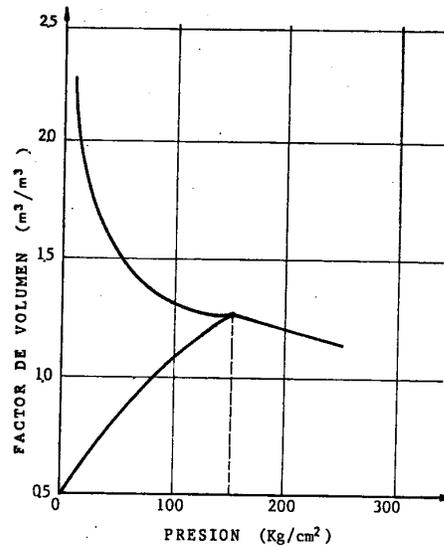


Fig. N° 1.3 VARIACIÓN DEL FACTOR DE VOLUMEN TOTAL DEL PETRÓLEO VS PRESIÓN.

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 de Gas.

V_{gcy} = Volumen del Gas a Condiciones del Yacimiento.

V_{gcn} = Volumen del Gas a Condiciones Normales (60 F y 14.7 Lpc)

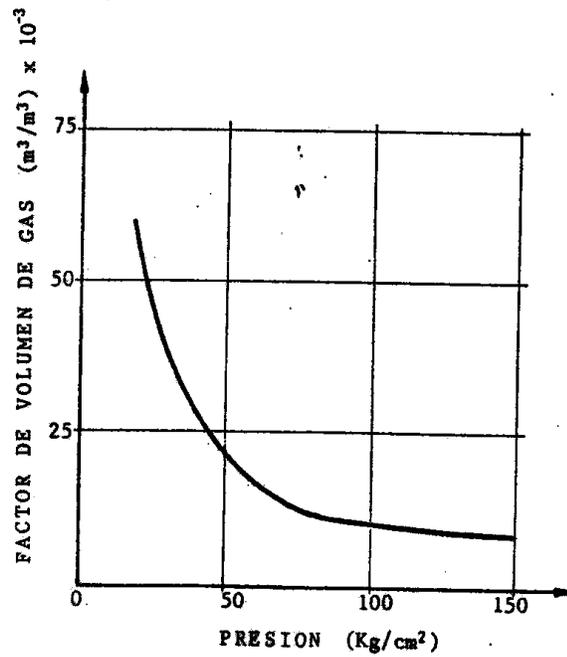


Fig. N° 1.4 VARIACIÓN DEL FACTOR DE VOLUMEN DEL GAS.
VS. PRESION.

e) RELACION 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.

V_{gd} = Volumen de Gas Disuelto a condiciones de Yacimiento.

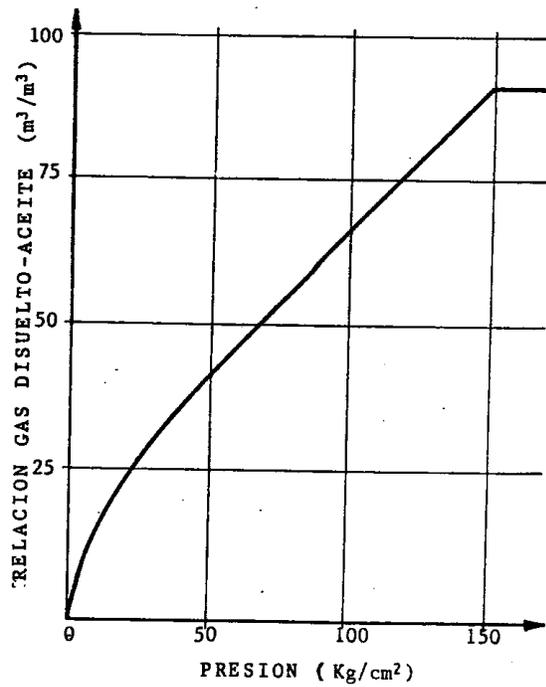


Fig. N° 1.5 VARIACION DE LA RELACION GAS DISUELTO VS. PRESION.

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:

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

Donde :

ΔV = Incremento de volumen por el cambio de temperatura.

ΔT = 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 aplicando la siguiente ecuación:

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

Donde:

ΔP = 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 el vacío.

$$GE g = \frac{Wg}{Wa}$$

Donde :

GE g = Gravedad específica del gas.

Wg = Peso del gas.

Wa = Peso del aire.

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

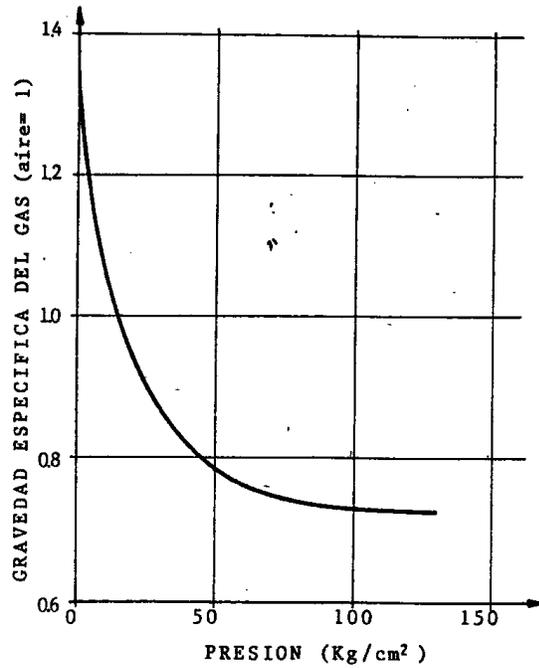


Fig. N° 1.6 VARIACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS VS PRESION.

i) DENSIDAD DEL PETROLEO SATURADO.

Para él calculo de la densidad del petróleo saturado se aplican las siguientes ecuaciones:

$$\rho = (M_{or} + M_{gdis}) / V_{oi}$$

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:

$$M_{gdis} = M_{gdl} - M_{gdl}$$

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

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

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_{gdl} = Masa total del gas disuelto liberado, en m etapas.

M_{gdl} = 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.

ρ_a = Densidad absoluta del aire a las condiciones del gas.

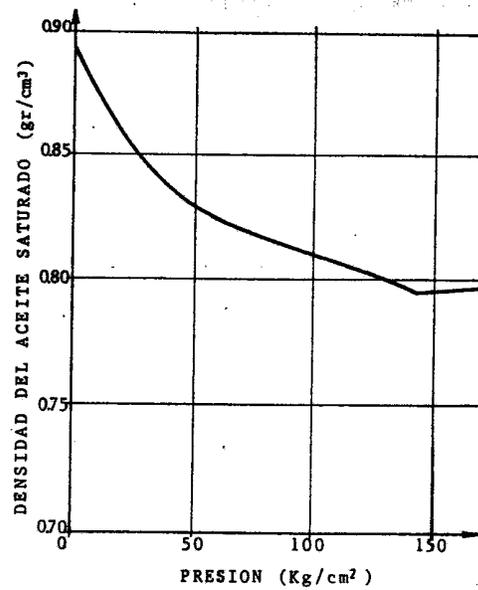


Fig. N° 1.7 VARIACION DE LA DENSIDAD DEL PETROLEO VS
PRESION.

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_0 = Viscosidad del petróleo saturado.

ρ_b = Densidad de la bolilla

ρ_o = Densidad del petróleo saturado.

T = Tiempo de rodamiento de la bolilla.

K = Constante de calibración del aparato.

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

1.5 SIMULACION DE LA PRODUCCIÓN

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

1.5.1 LIBERACION INSTANTÁNEA.

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

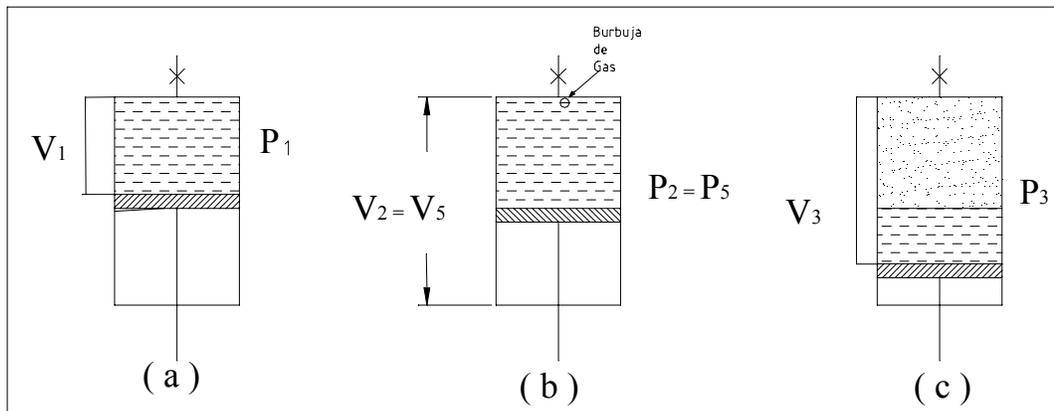


Fig. 1.8 LIBERACION INSTANTANEA

Los diagramas que se ilustran en la Fig. 1.8, indican en forma idealizada un proceso de liberación instantánea.

En (a), la muestra se encuentra a la presión de 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 ($P_2 = P_s$), 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_s) y existen las fases líquida y gaseosa en equilibrio ($V_s = V_t = V_{gas} = V_{liq.}$)

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

- a. El volumen relativo de las fases.
- b. El coeficiente de expansión térmica del petróleo saturado.
- c. Presión de burbujeo.
- d. Compresibilidad del petróleo ($C_o @ P > P_b$ y T_y).

1.5.2 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. 1.9, 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 la presión y volumen 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 de 50 lpc.

La última extracción de gas se hace desplazando el embolo 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. Los parámetros aportados por el proceso antes descrito son:

- a) Coeficiente de expansión térmica del petróleo residual.
- b) Relación gas-disuelto-petróleo.
- c) Densidad del petróleo saturado.
- d) Viscosidad del petróleo saturado.
- e) Factor de volumen del gas.
- f) Compresibilidad del petróleo residual.
- g) Gravedad específica del gas.
- h) Factor de volumen del petróleo.

La principal diferencia entre las pruebas de liberación instantánea y diferencial es el retiro de la celda de la cantidad de gas liberado en cada disminución de presión en la prueba diferencial, lo que no sucede en la liberación instantánea. Como resultado de esto, la composición del material remanente en la celda es progresivamente cambiando durante la prueba. El material retirado es en general hidrocarburos livianos: Metano, Etano y Propano.

1.6 METODOS DE MUESTREO

El estudio de áreas desarrolladas de un yacimiento es indispensable tener cuando se quiera muestrear correctamente, debido a que existen factores que debemos tomar en cuenta como: es la mecánica de flujo, estado de las instalaciones superficiales para conocer RGP. 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 ocasionaran errores en las estimaciones de las reservas. Por lo tanto, el muestreo se debe realizar en el periodo 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 fluidos deben ser tomadas solamente después que hemos realizado un plan de acondicionamiento del pozo. El tiempo de preparación varia entre 8-10 días, y no hay que pensar esto como perdida de producción sino que debe ser interpretada como una producción diferida.

- 3) HISTORIA DE PRODUCCIÓN .

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 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 cómo está produciendo el yacimiento. Así tenemos que yacimientos con casquete de gas los pozos a elegirse serán aquellos que estén produciendo en zonas alejadas del contacto gas-petróleo.

En yacimiento 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-petróleo no guarde relación con el tipo de yacimiento, pero esta dificultad es corregida con una adecuada preparación del pozo.

5) NUMERO DE MUESTRAS DEL 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 promedio de los fluidos.

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 cm³.

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 termo presión 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 de termo presión 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 termo presión 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 cronometro que acciona el cierre de las puertas.

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

Las técnicas 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 a entrada de aire, que en caso de haber aire debemos realizar purgas sucesivas.

Cuando se muestrea gas debemos llenar la botella porta muestra 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 debe pasar por deshidratadores por la remoción de trazas de agua presente en la muestra, por 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 prueba de liberación instantánea en 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.

CAPITULO II

EQUIPOS DE LA CELDA PVT DE LA FICT

2.1 INSTALACION DE LOS EQUIPOS: AREA, SEGURIDAD Y PREVENCIÓN PARA EL USO DEL MERCURIO.

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 esta relacionado con el diseño, construcción inspección e instalación de los recipientes de presión, donde se estipulan los 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, la 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 porosidad 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 permisibles de seguridad. En este laboratorio se usa materiales tóxicos como el mercurio, debiendo disponerse de aparatos de protección respiratoria auto contenidos en lugares accesibles.

- e) Deben evaluarse los sistemas de protección contra incendios para determinar la capacidad que estos 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 superficies 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 requiere un reemplazo periódico para reducir a un mínimo la posibilidad de fugas.

PREVENCIÓN PARA EL USO DEL MERCURIO.

El mercurio es usado ampliamente en diferentes laboratorios tanto como para la colección de gases y experimentos con ellos, medidores de presión, termómetros, sellos, etc. El vapor puede tener serias consecuencias en la salud ya que actúa como un veneno acumulativo.

La máxima concentración permitida de mercurio en el aire de un cuarto (laboratorio) para una persona trabajando cinco (5) días a la semana por ocho (8) horas es de 50 mgr/m³ aunque la presión de vapor de mercurio a temperatura ambiente es pequeña (cerca 0.0015 mmHg) si se evapora desde la superficie expuesta sin ventilación, el aire cuando se satura puede contener una concentración de mercurio de 20.000 mgr/m³. De tal manera, que el aire puede ser peligroso de respirar aun cuando es muy lejos del punto de saturación. La exposición a una atmósfera con 1000 mgr/m³ puede causar serio envenenamiento.

PREVENCIÓN AL PELIGRO: Los vapores de mercurio pueden venir de recipientes de mercurio abiertos o de derramamientos de este en forma de finas gotas, estabilizadas por polvo o sucio, en rajaduras en el piso o en esquinas de estantes donde la limpieza es ineficiente.

La concentración del vapor variara de lugar a lugar, puede ser alta cerca del liquido, pero bajas a pocos pies del.

MEDIDAS DE PREVENCIÓN:

1. Mantener los recipientes bien cerrados.
2. Todas las manipulaciones que envuelven mercurio deben ser llevadas en bandejas.
3. Evitar derramamientos.
4. Si ocurre algún derramamiento debe ser limpiado de inmediato.
5. Asegurar buena ventilación con aire fresco.
6. Si se sospecha algún peligro, probar el aire con un medidor de vapores de Mercurio.

LIMPIEZA DE DERRAMAMIENTOS: Gotas de mercurio pueden ser recogidas a través de un tubo capilar, pipeta o manguera plástica a una botella de colección conectada una bomba de agua o en su lugar un elemento de succión (bomba de vacío). Alternativamente, el mercurio puede ser congelado con dióxido de carbono sólido y después barrido. Si el piso o estante esta completamente impregnado con mercurio, riegue una pasta de lima, azufre y agua, deje por un día, después lave y pruebe el aire para vapores unos días mas tarde.

SÍNTOMAS DE ENVENENAMIENTO CON MERCURIO: La intoxicación o envenenamiento con mercurio es acumulativo, de tal manera que puede tomar algunos meses para notar sus efectos. Hay muchos síntomas posibles, aunque no todos se muestren.

Los más frecuentes son:

1. Temblor en los dedos, en los párpados, en la lengua o labios, provocando un hablar confuso o tartamudeo.
2. Muestras de tensión, nerviosismo, agitación o brotes de rabia.
3. Dolores de cabeza, pérdida de la memoria e insomnio.
4. Mas tarde pueden presentar abscesos en la boca, coloramiento azulado de las encías, pérdida de los dientes o caries, vómitos, diarreas, nefritis, movimientos convulsionados y comportamiento absurdo o irracional.

Ante de que todos estos síntomas se muestren, se espere que se sospeche el envenenamiento con mercurio y un examen de la sangre u orina debería indicar la presencia de peligro.

2.2 BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO VOLUMÉTRICO

La bomba de desplazamiento volumétrico permite efectuar 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 provenientes 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 solo 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 centímetro cúbico 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 Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT) son:

- a. Modelo No 2250 (2 bombas)
- b. Presión de Operación 8000 Lpc
- c. Volumen = 250 cc.
- d. Escala 1 cc y resolución dial (0.001 cc).
- e. Base montada en hierro colado para instalaciones en banco.

2.2.1 ESTADO DE LAS BOMBAS.

Cuando se comenzó a desarrollar esta tesis, las bombas se encontraban sin funcionar por mas de 10 años, motivo por el cual se les dio el mantenimiento adecuado para limpiar tanto la parte externa como su parte interior, además se debió controlar cada una de sus partes (válvulas, empaques, dial, timón, cámara de mercurio y manómetro) y comprobar que se encuentren en buen estado.

En lo que respecta a una de las bombas su manómetro se encontraba totalmente descalibrado, motivo por el cual se procedió a cambiarlo, para lo cual se alineo un manómetro de 5000 Lpc a la bomba que tenia su manómetro bueno y se controlo que dicho manómetro registre las mismas lecturas de presión. Una vez comprobado se procedió al cambio de manómetro en la bomba afectada, cabe acotar que esta bomba solo se la utilizo para traspaso de muestra mas no para lecturas de presión.

A continuación se explica el procedimiento para la preparación de las bombas.

2.2.2 PREPARACION DE LAS BOMBAS.

Se supone que la bomba no tiene mercurio o haya que cambiarle el que tenga. Se limpia cuidadosamente el cilindro y demás partes de la bomba con gasolina u otro fluido disolvente (tolueno, JP1, diluyente, etc..) Se cierran las válvulas de la bomba, VL (válvula lateral) y VH (válvula horizontal). La válvula lateral se conecta al vacío (bomba de vacío o línea de vacío). Se retrocede el pistón toda la carrera del embolo. Se abre lentamente la válvula superior, admitiendo mercurio en el cilindro, teniendo cuidado de mantener el recipiente lo mas lleno posible para evitar la entrada libre del aire. Se llena la bomba completamente, se cierra la válvula superior y se coloca la tapa al recipiente de mercurio.

Se giran las palancas de la bomba en sentido de las manecillas del reloj, aumentando la presión hasta la presión límite de trabajo. La presión debe aumentar casi instantáneamente. Además, la presión debe mantenerse constante. Si la presión disminuye, debe haber escapes. Se revisan las empaaduras, válvulas, etc. hasta eliminarlo. Se disminuye la presión a la atmosférica y se ajusta el vernier para estar seguros que no se deslice.

2.2.3 PRECAUCIONES Y CONSIDERACIONES PARA EL USO.

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 del laboratorio.
- c) Mantener todas las válvulas cerradas cuando la bomba esta temporalmente en reposo.
- d) Calibrar periódicamente el manómetro de la bomba con la balanza de pesos muertos.
- e) Cuando la bomba volumétrica no esta 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 Kg/cm², 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 cuenta y hacer correcciones apropiadas.
- f) 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 varia, 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 bourden del manómetro.

2.2.4 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 los anexos A.

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_2 y T_2 , se desea conocer el volumen a estas condiciones tal como se puede observar en un diagrama de fases presión-temperatura (Fig. No 2.1).

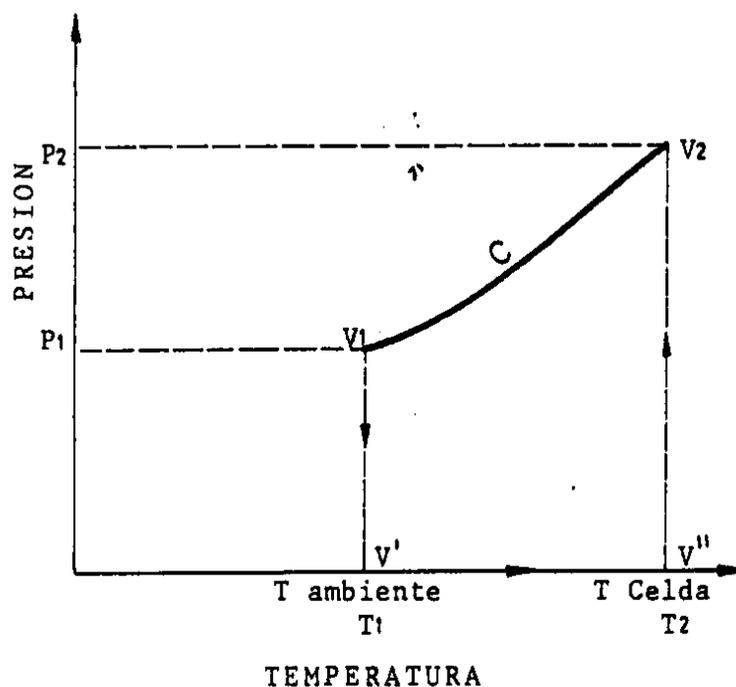


Fig. No 2.1 DIAGRAMA PRESION - TEMPERATURA

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' .

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

La expansión térmica de V' a la presión atmosférica a partir de T_1 hasta T_2 resulta el volumen V'' .

$$V'' = V' \epsilon_{t2}/\epsilon_{t1} = V_1 (1 + \text{Chg } T_1 * P_1) \epsilon_{t2}/\epsilon_{t1}$$

La compresión isotérmica de T_2 a partir de la presión atmosférica hasta P_2 da V_2 .

$$V_2 = V'' (1 - \text{Chg } T_2 * P_2)$$

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

$$V_2 = V_1 (1 + \text{Chg } T_1 * P_1) \epsilon_{t2}/\epsilon_{t1} (1 - \text{Chg } T_2 * P_2)$$

Donde se designa a :

V1: Volumen de una cierta masa de mercurio a P1 y T1.

V2: Volumen de una cierta masa de mercurio a P2 y T2.

Chg T1 : Compresibilidad del mercurio a T1.

Chg T2 : Compresibilidad del mercurio a T2.

ϵ_{t1} : Volumen relativo del mercurio a T1.

ϵ_{t2} : Volumen relativo del mercurio a T2.

La ecuación final tiene sus variantes, como por ejemplo si $P1 = P$, la ecuación final será:

$$V2 = V1 (1 - P (Chg T2 - Chg T1) \epsilon_{t2}/\epsilon_{t1})$$

Si se mantiene constante la temperatura se tiene que :

$(\epsilon_{t2}/\epsilon_{t1}) = 1$ y $Chg T1 = Chg T2$ la formula equivalente seria :

$$V2 = V1 (1 + Chg T * P_1) (1 - Chg * P_2)$$

$$V2 = V1 (1 - Chg * P_2 + Chg T^2 * P_1 * P_2)$$

El termino $Chg T^2 * P_1 * P_2$, es despreciable en la gama de presiones en que se trabaja, de donde tenemos:

$$V2 = V1 (1 + Chg T (P1 - P2))$$

Como la lectura de la bomba se realiza a la presión de calibración, los términos $(1 + \text{Chg } T1 * P1)$ y $(1 / \epsilon t1)$ 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).

$$F_{cb}' = F_{cb} (1 + \text{Chg } T1 * P1) (1 / \epsilon t1)$$

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

$$V_2 = V_{\text{Leido}} * \epsilon t_2 (1 - \text{Chg } T2 * P2) (1 / \epsilon t1)$$

2.3 CELDA PVT.

La celda donde se efectúa el estudio presión-volumen-temperatura, consiste básicamente de un cilindro hueco de acero inoxidable aproximadamente de 600 cm³ de capacidad, tiene provista una ventana para la observación visual de la presión de burbuja 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.

Esta diseñada para soportar fuertes cambios de presión y temperatura (10000 lpc y 350 °F), la celda tiene una ventana de vidrio con una apertura de 4.4 cm de longitud y 0.64 cm de ancho, para observar las interfases gas-petróleo-mercurio.

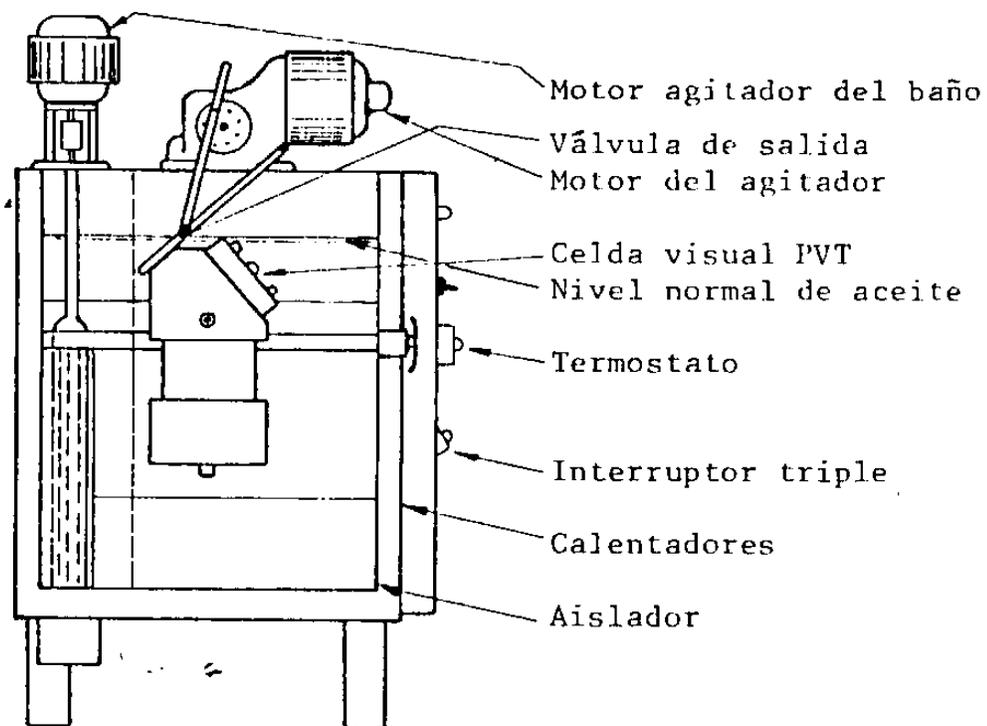
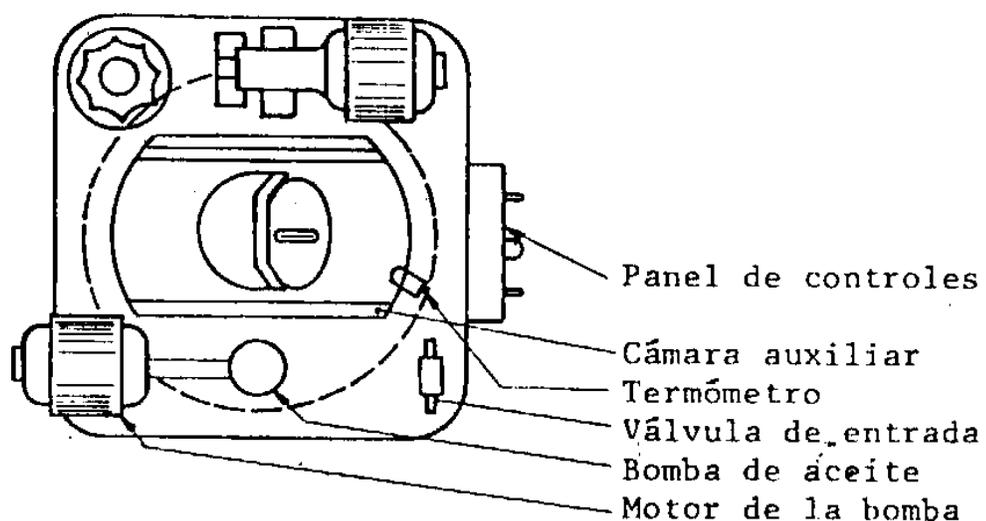


Fig. No 2.2 PARTES Y COMPONENTES DE LA CELDA PVT

La ventana de vidrio tiene un espesor aproximado de 2.54 cm y esta alojada en el cuerpo principal asentada con sellos y ajustadas por tornillos interiores.

La celda puede ser empujada para observaciones más directas usando la palanca de mano o agitador localizada en el panel de controles, ver Fig. No 2.3

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

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

La válvula de salida de la celda es de tipo aguja que le 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 precauciones de no ver directamente a la ventana sí la celda esta 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 un baño de aceite, o en su efecto se puede utilizar una camisa de calentamiento como se emplea en el laboratorio de Petroproducción en Quito.

Dentro de las especificaciones de la celda tenemos:

- a. Diseño de la celda # 2315.
- b. Volumen de la celda no calibrada 600 cm³.
- c. Presión máxima de trabajo 10.00 Lpcm a temperatura de 150°F.
- d. Peso 70 libras.
- e. Rango de temperaturas de 80 – 350 °F.

2.3.1 ESTADO DE LA CELDA.

Por motivo del no-funcionamiento de la celda por mas de 10 años es fácil deducir que las condiciones de la celda no eran las adecuadas para su inmediato funcionamiento, por ejemplo:

El aceite térmico se encontraba totalmente sucio motivo por el cual hubo que filtrarlo. El agitador y serpentín de calentamiento fueron limpiados con disolvente para extraer las impurezas que estaban adheridas.

El panel de control se encontraba sin la perilla de control de temperatura, para lo cual se tuvo que acoplar una disponible en el stock del laboratorio, además el indicador de control de calentamiento no funciona a pesar que el foco se encuentra en buen estado.

Las válvulas, conexiones, bomba para el nivel de aceite, agitador y palanca de agitación para la celda funcionaban correctamente.

2.3.2 PREPARACION DE LA CELDA.

Si la celda esta con mercurio u otro fluido, se drena en un recipiente que pueda contener un volumen mayor a 600 cm³, puesto que es la capacidad de la celda. Después se procede a limpiar con gasolina u otro fluido solvente no corrosivo. No se debe desprender (quitar) las válvulas para la limpieza. El solvente se inyecta presionándolo con aire o succionado con vacío. Se agita la celda fuertemente. Es suficientemente dos o tres lavadas con 100-200 cc de solvente. Se drena todo el solvente y se seca circulando aire.

2.3.3 VENTANA DE VIDRIO PARA VISUALIZAR EL PROCESO DE LIBERACIÓN DE GAS.

Estas ventanas permiten una determinación visual de la interfase entre gas-petróleo-mercurio dentro de la celda obtendremos una determinación mas precisa del comportamiento de la muestra en 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 características físicas que es de un material de construcción confiable para altas presiones y que un descuido por inexperiencia en el manipuleo del equipo puede resultar peligroso.

RUSKA ha diseñado y producido durante muchos años equipos con ventanas para la observación visual de celdas. Durante este periodo se ha 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.

Como se observa en la Fig. 2.3, el diseño consiste en que la ventana con la moldura este 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 distorsione 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 ralladuras de herramientas, esta parte debe tener espesor con suficiente material para que no pueda ser deformado 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 especiales de alta resistencia.

La mayor parte de las características indicadas son cuestión de diseño, material, selección y fabricación. El éxito de armado de la ventana es cuestión de técnica y experiencia. En la Fig. No 2 3, se muestra una típica sección y viste en planta de la ventana armada. La armadura es asegurada por un grupo de tornillos (numerados de 1 al 10) y montados sobre el borde exterior está 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 ajustado 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, evitaban 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, pueden ser atacado por los fluidos a ser ensayados o al menos por la combinación de los efectos de esos fluidos; dependen del tiempo de exposición, operación a alta presión y temperatura. Este hecho puede causar la ruptura del sello de la ventana sin razón aparente después que ha dado un satisfactorio servicio por un cierto número de ensayos.

En muchos casos, un ajuste adicional de la armadura de la ventana será ineficaz, o temporalmente efectivo. Es mejor reemplazar el sello de la ventana, o la combinación de sellos de amortiguamiento en la ventana. Una ventana que ha sido usada para alta presión de trabajo por un considerable lapso o ha sido removida de su sello, por ninguna razón será usada nuevamente.

La ventana puede parecer en buen estado por medio de una observación visual; pero su resistencia interna podrá estar fuera del límite de trabajo debido a su extracción desde la montura, por lo que podemos estar seguros que la ventana se romperá cuando se vuelva a colocar nuevamente.

Bajo ninguna condición se deberá ajustar una ventana cuando la celda está bajo presión.

2.3.4 TIPOS DE SELLOS.

a) SELLOS ELASTÓMEROS.

Uno de los sellos mas ampliamente usado y modernos son los sellos tipo “anillo”. Si un sello tipo “anillo” fuera usado en una ventana de vidrio, se experimentaría muy pocas dificultades. 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 mejoramiento del sello tipo “anillo” es el sello aro de sección cuadrada. Este actúa similarmente al sello “anillo”, pero a causa de su diferencia sección transversal, reduce el error causado por el acomodamiento del sello “anillo”. Un sello aro de sección cuadrada es mostrado en la Fig. No. 2.4. este sello consiste de dos retenedores de sección cuadrada de acero colocados en uno junto al otro y dimensionado de tal manera que el espacio entre los retenedores 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 quedara 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 vulcanizado resistente al ataque químico con sección trapezoidal (Fig. No. 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 limpiado con un chorro de madera que el elastómero pueda ser vulcanizado en el asentamiento de la ventana.

Estas marcas son inocuas, con tal que ellas no se extienden 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 fluidos en el análisis, la presión y la temperatura de operación.

d) SELLO DE RESINA FENOLICA.

Es más duradero y el mejor sello de volumen constante es el obtenido por una junta de lienzo reforzado con una resina fenolica, que es fabricada bajo los nombres comerciales de BAKELITA, FORMICA, TEXOLINE, MICARTA, etc. este sello fue usado en las celdas construida 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 este dañada, por ejemplo con ralladuras, fisuras o dobladas.

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

El material usado para estas juntas debe ser cuidadosamente seleccionado. Pueden usarse 2 laminas de teflón de 50 micras (0.002 pulgadas) de espesor, los cuales son colocados sobre cada lado de la resina (Fig. 2.6).

Cuando la colocación de la resina fenólica o la resina fenólica-teflón es usada, “un torque de 10 Lb-pie seria usada por los tornillos reguladores y 50 Lb-pie para los tornillos ajustadores”.

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 serian entonces reapretados con un torque de unos 50 Lb-pie.

2.3.5 INSTALACION Y PRUEBA DE LA VENTANA.

Un cambio en la ventana armada consiste en cambiar: la ventana de vidrio tratada térmicamente, el amortiguador fenólica 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 deben ser ajustado dentro del hueco de la ventana en la celda. Su borde exterior e interior deben 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 resina o del sello fenólica o dañar el borde del elastómero del sello compuesto. El sello se apoyara bien ajustado contra el lado exterior 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, ajustadores y reguladores (interiores y ajustadores) deben ser lubricados para que los tornillos puedan girar libremente y la lectura del torque sea una indicación real de la tensión aplicada sobre los tornillos. Después que la ventana ha sido limpiada del orificio, el sello es colocado en el orificio, siguiendo la ventana de vidrio y el amortiguador fenólica. La ventana de vidrio debe ser centrada de manera que no se apoye sobre los lados del orificio.

Si se desea, papel o lamina de cartulina puede ser usada para asegurar su permanente centrado. La armadura de la ventana es entonces colocada al tope del amortiguador. Los tornillos exteriores de la tapa A y E descansan 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. No 2.3 el ancho del espacio se deberá comprobar nuevamente, los tornillos exteriores serian 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-pieetc., 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 insignificanamente cóncava, pero nunca debe ser convexa.

PRUEBA DE INSTALACIÓN.

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 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 (5000 Lpc). 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 esta 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 pueden ser apretados cuando la celda esta a elevadas temperaturas, pero nunca intente realizarlo cuando la celda es 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 explico anteriormente.

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 da en muchos casos que se devuelvan remesas de ventanas al fabricante, por no ajustarse al hueco de la celda.

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

Las ralladuras 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 ralladuras transversales al área de sellado sean evitadas.

La RUSKA afirman que las ventanas para observación visual de las celdas PVT han dado satisfactorio uso en muchos laboratorios donde han trabajado a presiones mayores de 12,000 Lpc y 350 °F de temperatura.

2.3.6 BAÑO DE TEMPERATURA CONSTANTE.

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 máximo de 3700 vatios. Además un ducto que contiene los elementos de calentamiento y el agitador, esta 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.

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

Es indispensable que para la instalación se tenga una base plana y que descansa sobre la madera para limpieza fácil de la parte 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 esta lista para realizar ensayos.

OPERACIÓN DEL BAÑO: El baño es llenado con aceite comercial muy resistente a la temperatura (SAE 30) con el conmutador principal es encendido, por lo que el

motor del agitador entrara 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 HIGH (alto), y el termostato es encendido, así entra en operación el elemento controlador de calor. HIGH es usado únicamente para alcanzar la temperatura deseada.

Menor calor puede ser mantenido con el controlador de calor solamente. Si más calor es necesario para mantener la temperatura, el interruptor triple puede ser girado a “BAJO” O “MEDIO”. La luz piloto del termostato en el tope del panel indica cuando el controlador de calor esta prendido. Después que el baño alcanzo 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 apagaría periódicamente, manteniendo la temperatura del baño constante. Si la luz permanece apagada y la temperatura del baño elevándose continuamente, significara que el interruptor triple estará en la 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, solamente. Se debe realizar muchos ensayos para mantener una temperatura dada.

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

2.3.7 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. No 2.7

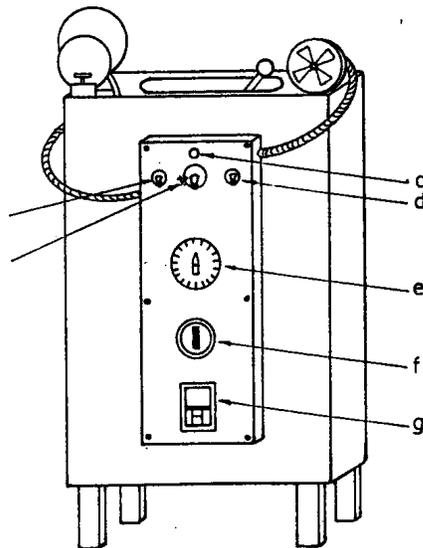


Fig. No 2.7 VISTA FRONTAL DEL PANEL DE CONTROLES

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, la intermedia es neutra, la inferior es para bajarlo.

d) AGITADOR.

Acciona el agitador que permite la circulación del aceite caliente dentro de la celda.

e) TERMOSTATO.

Escala graduada para establecer la temperatura deseada, cada división 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.

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

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

2.4.1 BOMBAS DE VACIO.

Las bombas de vacío en el Laboratorio de la Facultad ICT, son marca SARGENT-WELCH emplea el siguiente mecanismo: un rotor 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 después de 15 minutos de utilización. Un filtro es usado cuando operamos con alto flujo de gas.

Uno de los problemas más común en las bombas es la contaminación de aceite causando una pérdida de eficiencia. Su causa es por la condensación de vapores que incrementa 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 tiene alta presión de vapor que no daría un buen vacío.

CAPITULO III

RECALIBRACION DE EQUIPOS

3.1 RECALIBRACION DE LAS BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO.

3.1.1 PREPARACION DE LA BOMBA DE DESPLAZAMIENTO.

La preparación de bomba es muy importante antes de realizar la recalibración, primeramente se supone que no tiene mercurio o haya que cambiarle el que tenga, se limpia cuidadosamente el cilindro y demás partes de la bomba con gasolina o cualquier otro solvente, en nuestro caso lo que vamos a utilizar es tolueno. Se cierran las válvulas de la bomba 1 y 2, la válvula lateral se conecta a una bomba de vacío. Se retrocede el pistón toda la carrera del embolo. Se abre la válvula lateral 2 y se hace un buen vacío. Se llena el deposito con mercurio limpio. Se cierra la válvula lateral y se desconecta el vacío. Se abre lentamente la válvula superior 1, haciendo que se introduzca el mercurio en el cilindro, teniendo cuidado en tener el recipiente de mercurio lleno con el mismo para así evitar la entrada libre de aire. Se llena la bomba completamente, se cierra la válvula 1 y se tapa el recipiente de mercurio.

Se giran las palancas de la bomba en sentido de las manecillas del reloj, aumentando la presión hasta la presión límite de trabajo. La presión debe de aumentar casi instantáneamente. Además la presión debe de mantenerse constante. Si la presión disminuye lo mas seguro es que debe haber fugas en la bomba, entonces se revisan las empaaduras, válvulas, etc hasta que quede solucionado el problema. Se disminuye la presión a la atmosférica y se ajusta el vernier para estar seguros de que no se deslizará.

3.1.2 RECALIBRACION DE LA BOMBA DE DESPLAZAMIENTO

Antes que todo hay que determinar si el manómetro se encuentra calibrado o de lo contrario hay que hacerlo, hay una suposición que se tiene que tener en cuenta y es que la temperatura ambiente se mantiene constante durante el procedimiento de recalibración.

Para proceder a la recalibración, 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, 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 encerados. Subir la presión hasta la presión de calibración (5000 Lpc) y tomar la lectura inicial de la bomba (Lib).
- 5) Bajar la presión hasta 0 Lpc, abrir media vuelta la válvula de salida y desplazar un volumen aproximado de mercurio (5 – 10 cm³) 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 de 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 recalibración para determinar la constante de la bomba o el factor de calibración F_{cb} con el objetivo de eliminar errores por: expansión del cilindro de la bomba, compresibilidad de los empaques y deformación del tubo de bourdeon 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 recalibración en función de la temperatura.

HOJA DE RECALIBRACION, DETERMINACION DEL FACTOR DE
RECALIBRACION DE LA BOMBA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
Laboratorio de Yacimientos, Petrofisica y Fluidos

HOJA DE RECALIBRACION

Determinación del Factor de Calibración

Bomba: 22832

Presión de Calibración: 5000 LPC

Corrida No: 1

Operador: Javier Zhunio, Javier Rumipamba

Fecha: Octubre 17 / 2000

1	2	3	4	5	6	7	8
Lib	Lfb	Mrv	Mr_{Hg}	DEL_b	Tb	M_{Hg}	V_{Hg}
Div	Div	Grs	Grs	(2) - (1)	°C	(4) - (3)	cm³
1.445	12.215	26.80	159.10	10.770	28	132.30	9.78
12.215	21.870	26.50	157.60	9.655	28	131.10	9.69
21.860	31.515	26.85	157.47	9.655	28	130.62	9.66
31.515	41.050	26.42	155.79	9.535	28	129.34	9.56
41.050	51.320	26.31	165.50	10.270	28	139.19	10.29
51.320	61.220	26.45	161.80	9.900	28	135.35	10.01
61.220	71.220	26.40	161.00	10.000	28	134.60	9.95
71.220	81.095	26.32	160.08	9.875	28	133.76	9.89
81.095	91.295	26.81	164.80	10.200	28	137.99	10.20
91.295	101.721	26.10	167.41	10.426	28	141.31	10.45
101.721	112.004	27.00	167.30	10.283	28	140.30	10.37
112.004	122.541	26.70	169.21	10.537	28	142.51	10.54
122.541	132.402	26.38	168.50	9.861	28	142.12	10.51
132.402	142.830	26.70	167.57	10.428	28	140.87	10.41
142.830	153.155	26.20	167.00	10.325	28	140.80	10.41
153.155	163.890	26.74	171.30	10.735	28	144.56	10.69
163.890	174.379	26.80	168.90	10.489	28	142.10	10.51
174.379	185.261	26.55	174.10	10.882	28	147.55	10.91
185.261	196.552	26.73	179.70	11.291	28	152.97	11.31
196.552	207.170	26.80	170.02	10.618	28	143.22	10.59
207.170	217.560	26.20	167.10	10.390	28	140.90	10.42
217.560	227.803	26.47	165.45	10.243	28	138.98	10.27
227.803	238.268	26.40	168.30	10.465	28	141.90	10.49
238.268	248.600	26.73	166.10	10.332	28	139.37	10.30

9	10	ρ	
V_{Hg}^{**}	Fcb	Observaciones	
cm^3	(9) / (5)		
9.766	0.907		
9.676	1.002	T: Se mantuvo	8 .- $V_{Hg} @ Pat , Tb = (7) / den_{Hg} @ Tb$
9.646	1.000	constante en	
9.547	1.001	todo el proceso	** $V_{Hg} @ Pcb , Tb = (8) [1 - Pcb x C_{Hg} @ Tb$
10.276	1.000	de calibracion	
9.996	1.009		Fcb.- $V_{Hg} @ Pcb , Tb / Del_b @ Pcb , Tb$
9.036	0.904		
9.876	1.000		
10.186	0.999		
10.435	1.001		
10.355	1.007		
10.525	0.999		
10.495	1.064		
10.395	0.997		
10.395	1.007		
10.675	0.994		
10.495	1.001		
10.895	1.001		
10.296	0.912		
10.575	0.996		
10.405	1.001		
10.256	1.001		
10.475	1.001		
10.286	0.996		

COMENTARIOS SOBRE LA HOJA DE RECALIBRACION

En la prueba de calibración de la bomba de desplazamiento se obtienen los siguientes datos:

Lectura inicial (Lib) y lectura final (Lfb) de 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 de la bomba Lib tomada a la presión de calibración (5000 lpc), es dada en divisiones.

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

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

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

Columna 5.- Diferencia de lecturas en la bomba (Lb).

Columna 6.- Temperatura en la bomba, se requiere que esta temperatura sea constante mientras dura la calibración.

Columna 7.- Masa del mercurio Mhg obtenida por la diferencia entre (4) y (3).

Columna 8.- Volumen de mercurio medida a presión atmosférica y temperatura en la bomba, en cm³. El valor de la densidad del mercurio es obtenido de la Tabla I del Anexo A.

Columna 9.- Volumen de mercurio, medido a presión de calibración y temperatura en la bomba, (Vhg @ Pcb, Tb), en cm³. El valor de compresibilidad del mercurio se lo obtiene de la Tabla II, Anexo A.

Columna 10.- Factor de calibración de la bomba Fcb, en cm³ / divisiones. Obtenido como un promedio de todos los valores de la columna.

3.2 RECALIBRACION DE LA CELDA

3.2.1 PREPARACION DE LA CELDA

Antes de efectuar la calibración, sacamos la celda para limpiarla con un hidrocarburo ligero como nafta, éter o cualquier otro solvente; en nuestro caso la limpieza se la realiza con tolueno, luego secarla con aire a presión. Estando limpia y vacía, se cierran sus válvulas completamente y se chequean sus uniones. Para la limpieza no se deben de quitar las válvulas.

Colocar aceite en el baño de la celda a temperatura de 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.

3.2.2 DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE LA CELDA

Para determinar la capacidad de la celda, se realiza el siguiente procedimiento:

- 1) Abrir la válvula superior de la celda y conectar la bomba de vacío, asegúrese que la válvula inferior permanezca cerrada.
- 2) Hacer vacío y controlar posibles fugas observando el manómetro medidor de vacío. Cerramos la válvula superior y conectamos 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 (5000 lpc)

- 5) Tomar lectura inicial; de la bomba (Lib)
- 6) Abrir (1 ½ vueltas) la válvula bomba – celda y luego abrir lentamente la válvula inferior de la celda observando que la presión no disminuya a la presión de calibración (en ± 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 de la bomba (Lfb) como lo indica la hoja de calibración. Procedemos a realizar un cambio de bomba, con el objeto de inyectar mas volumen de mercurio a la celda. Disminuir la presión a cero, para proceder a inyectar mas mercurio a la cámara de la bomba, abriendo la calcula del vaso alimentador.
- 8) Repetir estas operaciones (5) a la (8) varias veces 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), esto es sumando todos los volúmenes de mercurio obtenidos y multiplicando este valor por el factor de calibración de la bomba de desplazamiento (Fcb) ya calculado.

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

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
Laboratorio de Yacimientos, Petrofísica y Fluidos

HOJA DE RECALIBRACION

Determinación de la Capacidad de la Celda

Celda No. 23028

Temperatura en la bomba: 82,4 oF

Factor de Calibración de la bomba: 0,992 cm³ / div.

Operador: Javier Rumipamba, Javier Zhunio

Fecha: Octubre 23 / 2000

1	2	3	4	5
Pcb	Lib	Lfb	Lb	LbxFcb
Lpcm	Div	Div	Div	cm ³
5000	13.13	252.22	239.09	649.853
5000	1.498	252.17	250.672	
5000	1.36	166.692	165.332	
			655.094	

COMENTARIOS SOBRE LA HOJA DE RECALIBRACION

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

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

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

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

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

El serpentín esta incluido como parte del volumen.

3.2.3 VARIACION DEL VOLUMEN DE LA CELDA CON LA PRESION.

Para determinar el cambio del volumen de la celda con la presión se realiza el siguiente 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 incrementando la presión tomando lecturas de 1000 Lpcm cada una, hasta 5000 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 (F_{ccp}) que relaciona el cambio de volumen de la celda con el cambio de presión. Aplicando un ajuste a estos valores se puede encontrar una ecuación de relación entre F_{ccp} y la temperatura.

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

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
Laboratorio de Yacimientos, Petrofísica y Fluidos

HOJA DE RECALIBRACION

Variación del volumen de la celda con presión

Celda: 23028

Temperatura en la Celda: 82 °F

Factor de Calibración de la bomba: 0,992 cm³ / div

Operador: Javier Zhunio, Javier Rumipamba

Fecha: Noviembre 07 / 2000

1	2	3	4	5	6
Presión	Lb	P	Lb x Fcb	LbxFcbx[1+ChgTcx P]	Fccp
Dato	Dato	(1.i) - (1)	(2) x Fcb	(4)x[1+ChgTcx(3)]	[(5) - (4)] / (3)
5000	172.055	0	170.679	170.679	-
4000	171.616	1000	170.243	170.290	0.0000470
3000	171.089	2000	169.720	169.815	0.0000475
2000	170.615	3000	169.250	169.391	0.0000470
1000	170.125	4000	168.764	168.952	0.0000470
Promedio = 0,00004713 cm ³ / Lpc					

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
Laboratorio de Yacimientos, Petrofísica y Fluidos

HOJA DE RECALIBRACION

Variación del volumen de la celda con presión

Celda: 23028

Temperatura en la Celda: 160 °F

Factor de Calibración de la bomba: 0,992 cm³ / div

Operador: Javier Rumipamba, Javier Zhunio

Fecha: Noviembre 07 / 2000

1	2	3	4	5	6
Presión	Lb	P	Lb x Fcb	LbxFcbx[1+ChgTcx P]	Fccp
Dato	Dato	(1.i) - (1)	(2) x Fcb	(4)x[1+ChgTcx(3)]	[(5) - (4)] / (3)
5000	168.170	0	166.825	166.825	-
4000	167.606	1000	166.265	166.311	0.0000460
3000	167.155	2000	165.818	165.910	0.0000460
2000	166.652	3000	165.319	165.457	0.0000460
1000	166.100	4000	164.771	164.955	0.0000460
Promedio = 0,000046 cm ³ / Lpc					

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
Laboratorio de Yacimientos, Petrofísica y Fluidos

HOJA DE RECALIBRACION

Variación del volumen de la celda con presión

Celda: 23028

Temperatura en la Celda: 200 °F

Factor de Calibración de la bomba: 0,992 cm³ / div

Operador: Javier Zhunio, Javier Rumipamba

Fecha: Noviembre 07 / 2000

1	2	3	4	5	6
Presión	Lb	P	Lb x Fcb	LbxFcbx[1+ChgTcx P]	Fccp
Dato	Dato	(1.i) - (1)	(2) x Fcb	(4)x[1+ChgTcx(3)]	[(5) - (4)] / (3)
5000	165.880	0	164.553	164.553	-
4000	165.310	1000	163.988	164.033	0.0000450
3000	164.825	2000	163.506	163.597	0.0000455
2000	164.260	3000	162.946	163.082	0.0000453
1000	163.731	4000	162.421	162.602	0.0000453
Promedio = 0,00004528 cm ³ / Lpc					

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
Laboratorio de Yacimientos, Petrofísica y Fluidos

HOJA DE RECALIBRACION

Variación del volumen de la celda con presión

Celda: 23028

Temperatura en la Celda: 222 °F

Factor de Calibración de la bomba: 0,992 cm³ / div

Operador: Javier Rumipamba, Javier Zhunio

Fecha: Noviembre 07 / 2000

1	2	3	4	5	6
Presión	Lb	P	Lb x Fcb	LbxFcbx[1+ChgTcx P]	Fccp
Dato	Dato	(1.i) - (1)	(2) x Fcb	(4)x[1+ChgTcx(3)]	[(5) - (4)] / (3)
5000	164.590	0	163.273	163.273	-
4000	164.104	1000	162.791	162.837	0.0000460
3000	163.600	2000	162.291	162.382	0.0000455
2000	163.045	3000	161.741	161.876	0.0000450
1000	162.563	4000	161.262	161.442	0.0000450
Promedio = 0,00004538 cm ³ / Lpc					

COMENTARIOS SOBRE LA HOJA DE RECALIBRACION

Columna 1.- Presión (P), en Lpc.

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

Columna 3.- ΔP , 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 cm³ / Lpc.

Se calcula así:

$$Fccp = ((5) - (4)) / ((1.i) - (1))$$

3.2.4 VARIACION DEL VOLUMEN DE LA CELDA CON LA TEMPERATURA.

En este caso se supone que la temperatura del mercurio en la bomba es la temperatura ambiente y la celda PVT esta sometida a determinada temperatura, generalmente una temperatura alrededor de la del yacimiento.

Los efectos de dilatación son creados por los incrementos de temperatura, estos efectos se cuantifican estableciendo la temperatura del baño a diferentes temperaturas que la ambiente. Los siguientes pasos indican el procedimiento:

Una vez elegida la gama de temperaturas, procedemos así:

1. Abrimos todas las válvulas del sistema, pero a excepción de la válvula superior de la celda, esperamos a que se estabilice la temperatura en la celda a la que ejerceremos las relaciones P. V. T.
2. Cuando alcancemos la temperatura, aumentamos la presión como se lo hizo en la sección anterior (3.2.3.) 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 la celda por temperatura (F_{cct}) que relaciona el cambio de volumen de la celda con el cambio de temperatura, que será único para cada modelo de celda.

HOJA DE RECALIBRACION: VARIACION DEL VOLUMEN DE LA CELDA CON LA TEMPERATUR

EXPANSION DEBIDO A LA TEMPERATURA

1	2	3
Presión (Lpc)	V (222 °F - 82 °F)	$\Delta V / \Delta T$
5000	170,679 - 163,273 = 7,406	0.0529
4000	170,243 - 162,791 = 7,452	0.0532
3000	169,720 - 162,291 = 7,429	0.0531
2000	169,250 - 161,741 = 7,509	0.0536
1000	168,764 - 161,262 = 7,502	0.0536

Promedio = 0,0533 cm³ / °F

COMENTARIOS SOBRE LA HOJA DE RECALIBRACION

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

Columna 1.- Presión de operación.

Columna 2.- ΔV , diferencia de volúmenes a dos temperaturas dadas.

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

Expansión debido a la temperatura.

3.2.5 RESULTADOS DE RECALIBRACION.

Factor de calibración de la bomba = 0.992 cc/ div.

Factor de calibración de la celda por presión = 0.0000459 cc / lpc

Factor de calibración de la celda por temperatura = 0.0533 cc / o F

Volumen de calibración de la celda = 649.853 cc.

Es importante anotar que estos valores de calibración permanecerán constantes mientras no se realicen ningún cambio tanto en la celda como en las bombas.

Como comentario sobre los valores de los factores de calibración tanto de bombas como de la celda, hacemos notar que no son iguales a los que presenta el manual del cual era nuestro guía, esto es porque se hicieron ciertos ajustes y cambios de ciertas

partes de estos equipos, pero también hacemos conocer que nuestros valores calculados, se encuentran muy aproximados a esos, lo que nos da bastante confiabilidad en que los procedimientos realizados para la recalibración son los correctos y fueron llevados acabo de manera apropiada.

CAPITULO IV

ERRORES DE MEDICION

4.1 GENERALIDADES SOBRE LOS ERRORES.

La física es una ciencia experimental, por eso, el saber observar los procesos físicos y medir distintas magnitudes físicas tiene un especial interés.

Medir una magnitud significa compararla con otra homogénea tomada como unidad de medida. A pesar de la gran variedad de magnitudes físicas, las mediciones directas son posibles solamente para alguna de ellas.

Ejemplo de mediciones directas son: la medición de longitud (con distintas escalas) o de masa (con ayuda de las balanzas. Con mas frecuencia tenemos que medir magnitudes auxiliares de las cuales están relacionadas con la magnitud que nos interesa por medio de leyes físicas, las cuales, a su vez, están expresadas por ecuaciones matemáticas, es decir, realizamos mediciones indirectas.

EXACTITUD DE LAS MEDICIONES: Como resultado de la imperfección de los aparatos de medición y de los sentidos del ser humano, en cualquier tipo de medición se obtiene solamente valores aproximados de las magnitudes que se miden.

La afirmación de una magnitud, por ejemplo, una longitud es medida con una exactitud de hasta 0.1 mm, significa que el valor en menos de 0,1 mm la exactitud de la medición se determina con aquella mínima división de la unidad de medida, hasta la cual con seguridad de corrección del resultado se pueden efectuar las mediciones.

La exactitud del resultado de las mediciones depende de la exactitud de los instrumentos, y también de la exactitud del método de medición. Al comenzar cualquier trabajo se debe determinar aquel límite de exactitud de las mediciones que puede garantizar el instrumento utilizado.

4.2 CLASIFICACION DE LOS ERRORES EN LAS MEDICIONES

En todas las mediciones se producen determinados errores. El análisis de las preguntas referentes a la aparición de los errores nos lleva a la deducción de que estos se pueden dividir en dos grupos fundamentales.

1. Errores sistemáticos.
2. Errores casuales o de azar.

En esta clasificación no consideramos aquellos errores que surgen por la falta de atención en las lecturas de las indicaciones de los instrumentos de medición, de la no correcta escritura de los datos, de los errores en los cálculos aritméticos y aquellos que son debido a no saber realizar las mediciones. Estos errores que no se someten a ninguna ley, se los puede evitar si la persona pone mas atención y revisa cuidadosamente los resultados.

4.2.1 ERRORES SISTEMATICOS.

Un error sistemático es aquel que siempre produce un error de un mismo signo. Estos errores aparecen sistemáticamente en las mediciones repetidas y resultan mas frecuentes por las fallas de los instrumentos de medición, por la inexactitud del mismo método de medición o por la utilización de datos inexactos en los cálculos. Los errores sistemáticos pueden subdividirse en tres grupos: Instrumentales, Personales y Externos.

Un error instrumental es debido a la falla o impresión de los instrumentos. El personal a una particularidad o prejuicio del observador y los externos causados por condiciones no controlables (viento, temperatura, vibraciones, etc)

4.2.2 ERRORES CASUALES O DE AZAR.

El error de azar es aquel en el que existen iguales probabilidades de que el error sea positivo o negativo.

4.3 DETERMINACION DE LOS ERRORES PARA RESULTADOS DE MEDICIONES DIRECTAS.

Mediciones directas son aquellas por las cuales el valor de la magnitud buscada “a” puede ser determinada directamente por la indicación de un instrumento. Estas mediciones se limitan frecuentemente a lecturas es una escala.

Como ejemplo de mediciones directas pueden servir: la determinación de una longitud con ayuda de un compás o de un tornillo micrométrico, medición de intervalos con un cronometro, etc.

4.3.1 VALOR MEDIO DE UNA MAGNITUD MEDIDA.

Supongamos que como resultado de mediciones repetidas efectuadas con igual exactitud, hemos obtenido una serie de distintos valores de la magnitud “a” (algunos de los cuales puede coincidir entre sí):

$$a_1, a_2, a_3, a_4, \dots, a_n$$

Surge la pregunta: ¿Cuál de estos valores aproximados esta mas cerca del verdadero valor de la magnitud medida?

La teoría de los errores nos da la siguiente deducción

El valor más cercano al verdadero valor de la magnitud es la MEDIA ARITMÉTICA de la serie de mediciones efectuadas.

La media aritmética (\bar{X}) se la calcula sumando todos los valores de todas las mediciones (x_i) y dividiendo esta suma para él numero de mediciones. Es decir

$$a_m = \bar{a} = (a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n) / n = \Sigma a_i / n$$

Los resultados de las mediciones independientes difieren del valor de la medida. Estas desviaciones de la media aritmética tienen la denominación de ERRORES ABSOLUTOS.

4.3.2 ERRORES ABSOLUTOS.

Se llama error absoluto de una medición a la diferencia entre el valor de la media aritmética y de dicha medición.

Los errores absolutos de las mediciones se los indica con la letra griega (delta) y se los escribe antes de la magnitud para la cual este error se calcula, de esta manera.

$$\Delta a_1 = \bar{a} - a_1$$

$$\Delta a_2 = \bar{a} - a_2$$

$$\Delta a_n = \bar{a} - a_n$$

4.3.3 VALOR MEDIO DEL ERROR ABSOLUTO.

Los errores absolutos de cada medición en cuarto grado caracterizan la exactitud de ella y pueden tomar los más distintos valores, pero las desviaciones pequeñas del valor medio se encuentran más frecuentemente que las grandes desviaciones. La exactitud del resultado de una serie de mediciones de una magnitud cualquiera, es decir, la exactitud de la media aritmética, se caracteriza por un cierto número. En virtud de dichas características vamos a utilizar la media del error absoluto. Esta se encuentra sumando los errores absolutos de cada medición, sin considerar los signos y dividiendo el valor de esta suma por el número de mediciones n:

$$\Delta \bar{a} = \frac{+/- \cup \Delta \bar{a}_1 \cup +/- \cup \Delta \bar{a}_2 \cup +/- \dots \cup +/- \cup \Delta \bar{a}_n \cup}{n} = +/- \Sigma \Delta a_i / n$$

Siendo i: 1, 2, 3.....n

Al valor medio del error se le da los signos (+) y (-). El resultado de las mediciones, considerando los errores, se escribe en la forma:

$$a = (\bar{a} +/- \Delta a)$$

Con la indicación de las unidades después de los paréntesis.

Si los valores de \bar{a} y $\Delta \bar{a}$ tienen igual factor; del tipo de diez a una potencia cualquiera, este factor se saca también fuera de los paréntesis.

La fórmula (4) significa que el verdadero valor de la magnitud que se mide se encuentra en el intervalo limitado por los valores $\bar{a} - \Delta \bar{a}$ y $\bar{a} + \Delta \bar{a}$.

Por ejemplo, si la longitud de cierto segmento es $l = (15.4 +/- 0.3)$ mm, entonces esto significa que el verdadero valor del segmento se encuentra entre 15.1 y 15.7

mm. Es evidente que a menor valor de la media del valor absoluto, menor será aquel intervalo en el cual se encuentra el valor verdadero de la magnitud que se mide y tanto mas exacta ha sido esta medición.

4.3.4 ERROR RELATIVO.

Para obtener una idea más completa sobre las mediciones de una magnitud y tener la posibilidad de comparar la exactitud de distintas mediciones (incluso números y cantidades de distintas mediciones), se acostumbra encontrar el error relativo del resultado. Se llama error relativo la relación del error absoluto de una magnitud, a la misma magnitud medida ($\Delta a / a$).

Generalmente solo el error relativo medio del resultado de las mediciones, el cual se calcula como la relación del valor medio del error absoluto a su media aritmética (se expresa generalmente en porcentaje).

La escritura final de los resultados de la medición de cierre magnitud "a", considerando los errores de las mediciones, debe tener la siguiente forma:

$$a = (\bar{a} \pm \Delta \bar{a}) \quad \text{con indicación de las unidades}$$

$$(\Delta a / a) = (\Delta \bar{a} / \bar{a}) \quad \text{en porcentaje.}$$

EJEMPLO:

Se ha efectuado la medición de la longitud de un segmento.

$L = (15.4 \pm 0.3)$ mm y la longitud de onda $\lambda = (5500 \pm 300) \text{ \AA} = (5500 \pm 300) \times 10^{-7}$ mm. El error absoluto de la segunda ($\pm 300 \times 10^{-7}$ mm) es mucho menor que el de la primera (± 0.3 mm), pero podemos afirmar que la segunda

medición es más exacta que la primera hasta que no determinamos los errores relativos de estas mediciones:

$$\Delta L / L = \pm (0.3 / 15.4) \times 100 \approx 2.0 \%$$

$$\Delta \lambda / \lambda = \pm (300 / 5500) \times 100 \approx 5.5 \%$$

De aquí vemos que la exactitud de la medición de la longitud de onda es menor que la exactitud de la medición de la longitud del segmento. Finalmente, escribimos:

$$L = (15.4 \pm 0.3) \text{ mm} , (\Delta L / L) = \pm 2.0 \%$$

$$\lambda = (5500 \pm 300) \text{ A}^\circ , (\Delta \lambda / \lambda) = \pm 5.3$$

CAPITULO V

ANALISIS P.V.T. :PROCEDIMIENTOS DE OPERACION

5.1 METODOS DE MUESTREO.

Las muestras de subsuelo no son recomendadas para yacimientos de gas condensado ni para yacimientos de petróleo negro que produce cantidades de agua considerables. La fase líquida en el fondo de un pozo cerrado en un yacimiento de gas condensado no es representativa de los fluidos del yacimiento. Una columna de agua en el fondo de un pozo cerrado de petróleo negro evita tomar la muestra a la profundidad adecuada y crea una situación donde la colección de una muestra representativa de fluidos del yacimiento, sería imposible.

Frecuentemente el agua está en el fondo del pozo, aun en pozos que normalmente no producen agua. Por esta razón, un gradiente de presión estática debería ser corrido e interpretado para determinar la interfase gas – petróleo y la interfase agua – petróleo en el eductor.

Cuando se está corriendo una toma de muestra de fondo en el pozo se debe tener cuidado al atravesar la interfase gas – petróleo. La falta del debido cuidado podría resultar en un accionamiento prematuro del mecanismo que cierra las válvulas superior e inferior del toma muestras y una muestra no representativa sería el resultado del cierre prematuro de las válvulas. El toma – muestras tampoco debería

ser bajado en la interfase agua – petróleo, porque de este modo la muestra colectada sería agua del yacimiento.

El toma-muestra es bajado en el pozo con una guaya fina estándar de 0.072 pulgadas.

Un esquema típico de la bajada del toma – muestra en el pozo puede ser visto en la Figura 5.1. El toma – muestra de fondo es ensamblado con uno de los dos mecanismos que existen para activar el gatillo que cierra las válvulas en ambos extremos, estos mecanismos son un cabezal de pasador o un cabezal de reloj. El cabezal de pasador, el cual es usado para muchas aplicaciones, es activado comunicando un golpe violento a la guaya fina en la superficie.

En casos donde el cabezal de pasador no se puede usar como por ejemplo en yacimientos de petróleo pesado y pozos desviados, entonces se usa el cabezal de reloj.

Después que el toma – muestra ha sido bajado en el pozo hasta la zona productora (pero nunca por debajo del final del eductor o la interfase agua – petróleo) la válvula del toma – muestra, las cuales han sido abiertas con anterioridad, son cerradas por el mecanismo de pasador o reloj. La muestra atrapada entonces es subida a la superficie y se lo coloca un cabezal de transferencia al toma - muestra. La presión de burbujeo a la temperatura ambiente del fluido es medida acoplando una línea del cabezal de transferencia a la bomba de mercurio, inyectando mercurio dentro del toma – muestra agitándolo después de cada inyección hasta alcanzar una presión de equilibrio al graficar el volumen de mercurio inyectado vs. La presión de la muestra se debe observar el punto de burbuja de la muestra. Luego se presiona el fluido hasta alcanzar una presión que mantendrá a la muestra en una sola fase y la segunda

válvula del cabezal de transferencia es acoplada a un cilindro de almacenamiento de alta presión. El contenido del toma – muestra puede ser transferido por gravedad.

El toma – muestra es corrido en el pozo es corrido en el pozo [por segunda vez y se repite todo el proceso de transferencia anterior. La segunda será transferida solamente si el punto de burbuja a temperatura ambiente es similar al de la primera muestra. Usualmente se encuentra una diferencia de 20 a 50 lpc. Si los puntos de burbujeo no son similares, se deben continuar la toma de muestras de fondo hasta encontrar una aceptada por los límites. Después que las dos muestras de fondo con presión de apertura y punto de burbujeo similares han sido tomadas y transferidas, el proceso de muestreo ha sido completado.

Como una medida de seguridad, algo de mercurio debe ser drenado de cada cilindro de almacenamiento antes de ser transportado a laboratorio. Las muestras deben ir etiquetadas y acompañadas de toda la información disponible del pozo, incluyendo temperatura del yacimiento, presión estática del yacimiento, relación gas – petróleo original y actual, etc.

5.2 DETERMINACION DEL ESTADO DE LA MUESTRA

Antes de que realicemos el análisis PVT efectuamos un estudio al estado de la muestra tal como viene del campo y a las condiciones de los equipos del laboratorio.

Esta determinación del estado de la muestra es muy importante ya que nos da parámetros más representativos del yacimiento: Al llegar la botella porta muestra al laboratorio comprobamos visualmente las posibles fugas a través de las válvulas que pudieron ocurrir en el transporte, alterando la composición original de la muestra, y

además lo que determinamos es la presión de saturación, mas que todo la presión de la muestra en la botella, de la siguiente manera.

1.- Tomamos la botella que contiene a la muestra a la cual se le va a realizar el análisis PVT, la conectamos a una bomba de desplazamiento por medio de una cañería de alta presión, teniendo todas las válvulas cerradas.

2.- Abrimos la válvula 3 y desplazamos mercurio haciendo girar el manubrio de la bomba en sentido de las manecillas del reloj hasta que sea evacuado el aire de la línea, es decir, hasta que salga mercurio por el final de la línea, la cual después la ajustamos.

3.- Aumentamos la presión en la línea a una mayor que la presión de saturación aproximadamente unos 5000 lpc., abrimos la válvula 1 y nos damos cuenta como cae la presión en el manómetro de la bomba indicándonos la presión de la botella, aproximadamente 3500 lpc. Que esta muy por encima de la presión de saturación de la muestra en el yacimiento

5.3 TRASPASO DE LA MUESTRA A LA CELDA

Antes de realizar el traspaso de la muestra a la celda, a esta le realizamos una limpieza y unas pruebas para determinar el estado del equipo.

5.3.1 LIMPIEZA DEL EQUIPO

Esta limpieza se la realiza con el propósito de eliminar posibles residuos de muestras realizadas anteriormente, empleando un solvente no corrosivo como: éter, tolueno, xileno. Primero extraemos todo el mercurio que se encuentra dentro de la celda porque existe la posibilidad que se encuentres sucio para que sea limpiado

adecuadamente, colocamos el recipiente con el solvente en la válvula superior de la celda, dejando drenar el solvente al interior de esta mientras se esta succionando por la válvula inferior por medio del uso de una bomba de vacío, este procedimiento se lo debe señalar hasta que el solvente que se esta utilizando salga completamente limpia.

Luego desconectamos el recipiente que contiene el solvente y también la bomba de vacío de la celda y conectamos una manguera de aire y dejamos que circule el aire que saldrá con el solvente hasta que salga solamente el aire. Elevamos la temperatura de la celda

(aproximadamente 150 °F) para evaporar totalmente los restos de solvente, finalmente hacemos vacío de la celda y cuando la operación termine, cerramos la válvula superior e inferior.

5.3.2 PRUEBAS DE FUGAS

Esta prueba se la realizo llenando por la válvula superior de la celda mercurio o aire a una presión superior a la de trabajo, es decir un poco por encima de los 5000 lpc, verificamos las fugas con el uso de agua de jabón en la celda a través de las uniones, válvulas, conexiones y la ventana, en caso de que estas existan, se debe apretar y si es posible cambiar los empaques, los mismos que deben ser probados nuevamente.

5.3.3 PRUEBA DE VACIO

Para realizar vacío se conecta el equipo en la válvula superior de la celda, mientras se mantiene cerrada la válvula inferior, cuando ya se encuentra a una presión

determinada de vacío, se comprobó que la presión no aumentó por medio de un manómetro de vacío.

Después que todas estas pruebas han sido satisfactorias, entonces estamos dispuestos a realizar el traspaso de la muestra a la celda. Ver la Fig. 5.2

Para realizar el traspaso de la muestra de la botella a la celda se utilizó 2 bomba de desplazamiento.

1.- Luego de haber comprobado que la presión en la botella está por encima de la presión de saturación de la muestra, subimos la presión en el sistema bomba-botella hasta 5000 lpc. hasta la válvula 5 la cual se encuentra cerrada al igual que la 1, 2, 3.

2.- Abrimos lentamente la válvula 5, mantenemos la presión a 5000 lpc., purgamos el aire de la conexión para la cual se abre lentamente el conector de la cañería a la válvula 3 hasta que salga aire y fluya una pequeña cantidad de muestra lo que nos indique que la cañería está totalmente purgada de aire.

3.- Manteniendo la presión a 5000 lpc. Luego cerramos la válvula 6 y abrimos la 7 para proceder a cargar con mercurio a la bomba, cerramos la válvula 7 y abrimos la 6 manteniendo la presión a 5000 lpc y tomamos la lectura inicial de la bomba para el traspaso.

4.- Con la bomba que se encuentra conectada a la celda teniendo en cuenta que la celda está totalmente llena de mercurio, abrimos la válvula 2 y aumentamos la presión a 5000 lpc manteniendo solamente la válvula 3 cerrada; entonces los sistemas: bomba – celda y el sistema botella – bomba se encuentran a una presión aproximada de 5000 lpc ya estamos listos para el traspaso de la muestra a la celda.

5.- Ahora abrimos la válvula 3 y homogenizamos la presión del sistema a 5000 lpc y procedemos al traspaso, para esto realizamos un aumento de presión en la bomba que se encuentra conectada a la botella mediante giros en el manubrio en sentido a las manecillas del reloj y a la vez disminuimos la presión en la bomba que se encuentra conectada ala celda mediante giros en el manubrio en sentido contrario a las manecillas del reloj, pero eso si teniendo en cuenta que en los manómetros de las bombas se mantenga la presión de 5000 lpc. En los dos sistemas hasta que la cantidad de muestra que entra en la celda sea de aproximadamente 80 cc. Y tomamos la lectura en la bomba como lectura al final del traspaso (Lbft).

6.- Luego de esto cerramos la válvula 3 al igual que la válvula 5 y despresurizamos la cañería abriendo lentamente la conexión a la válvula 3 hasta que quedo despresurizada. (se debe de tener en cuenta el manejo de la línea ya que se encuentra llena de muestra).

5.4 CALENTAMIENTO DE LA MUESTRA EN LA CELDA A LA TEMPERATURA DE YACIMIENTO.

Una vez que tenemos la muestra en la celda se procedio a calentarla hasta la temperatura establecida, es decir, la temperatura de yacimiento. Desde la temperatura ambiente T_a hasta la de 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 debido a la dilatación del mercurio dentro de la celda junto a la expansión de la muestra dentro de la misma, por lo que siempre se debe controlar el aumento de presión. Ver la Fig. 5.3

1.- A la bomba que se encuentra conectada por la parte inferior de la celda le cerramos la válvula 1 y abrimos la válvula 7 desplazando el mercurio de la bomba a la cámara de mercurio de esta, hasta llegar a una lectura que nos permita tomarla como lectura inicial de calentamiento de la celda.

2. - Cerramos la válvula 7 y aumentamos la presión a 5000 lpc tomamos la lectura inicial de calentamiento de la celda (Licc) y abrimos la válvula 1 procediéndose a calentar a la celda hasta una temperatura de yacimiento de 227 °F manteniéndose siempre la presión aproximada de 5000 lpc. También hay que tomar la temperatura inicial de calentamiento de la bomba (Ticb) y la temperatura inicial de calentamiento en la celda (Ticc).

3.- Luego que hemos alcanzado la temperatura esperada, tomamos la lectura final de calentamiento de la celda (Lfcc), la temperatura final de calentamiento en la bomba (Tfcb) y la temperatura final de calentamiento en la celda (Tfcc). Lo que nos dio la expansión térmica de la muestra dentro de la celda después de haberla calentado.

Debido a la extracción de mercurio Licb es mayor que Lfcb. El volumen de muestra que esta en la celda juega un papel muy importante en el calentamiento, debido a que si este es muy grande una parte de la muestra llegara hasta la bomba que ocasionara un error en las lecturas.

5.5 LIBERACION INSTANTANEA.

Luego que la muestra se encuentra en la celda a la temperatura de yacimiento y a una presión de 5000 lpc y estas permanecen constantes, se procedió a realizar una

liberación instantánea de la muestra. La celda tiene que estar a la temperatura de yacimiento.

La liberación instantánea se realizo de la siguiente manera:

1.- Tomamos lectura y temperatura en la bomba a las condiciones de presión y temperatura establecidas para la muestra.

2.- Para la siguiente lectura, se disminuyo la presión a 4500 lpc, se agito la celda por un tiempo de 4 a 5 minutos después de este tiempo detenemos el agitador y cerramos la válvula 1 elevamos la presión a 5000 lpc y tomamos la lectura en la bomba, la cual la registramos como la lectura en la bomba a 4500 lpc, bajamos la presión a 4500 lpc y abrimos la válvula 2 en la misma cantidad de giros que se la cerro y continuamos agitando para que después de 4 a 5 minutos poder realizar la siguiente toma de lectura.

3.- Bajamos 500 lpc y se repitió el mismo procedimiento anterior hasta que llegemos a una presión de 1500 lpc. Debido a que nos estamos acercando al punto de burbuja estimado para este crudo.

4.- El paso siguiente es trabajar solamente con el dial de la bomba, haciendo disminuciones de 20 divisiones lo que nos dio lecturas de presión más cercanas.

5.- Bajamos 20 divisiones en el dial, y se realizo el procedimiento anterior pero en este caso se tomo la lectura de la presión antes de cerrar la válvula 1 y elevamos la presión a 5000 lpc. tomamos la lectura de la bomba, después se baja la presión

dejando al dial de la bomba en el mismo sitio que se encontraba antes de elevar la presión y se disminuyen 20 divisiones más.

6.- Si en algún punto de estos se nos repite una presión o nos dan presiones bien aproximadas, es porque nos encontramos en el punto de burbuja, a partir de allí comenzamos a bajar 100 divisiones y así sucesivamente podemos ir bajando una lectura de 10 cc en la bomba hasta llegar a una presión muy por debajo del punto de burbuja.

7.- El punto de burbuja lo determinamos graficando las lecturas de la presión y las lecturas de la bomba en cada uno de los pasos y podremos ver que existe un cambio brusco en la dirección de los puntos que se encuentran por encima del punto de burbuja y los que se encuentran por debajo de dicho punto, cogemos los puntos representativos y los unimos con una recta los que están por encima y con otra recta los que están por debajo.

Nos damos cuenta que hay un punto en donde se cruzan las dos lineal, entonces hemos determinado gráficamente el punto de burbuja el cual es una aproximación casi exacta del valor real.

5.6 LIBERACION DIFERENCIAL

Una vez que se realizo la liberación instantánea se dispuso el equipo, tal como se muestra en la Fig. 5.4. Para proceder a realizar la liberación diferencial de la siguiente forma:

1.- Estando la muestra en la celda a la temperatura de yacimiento (227 °F) y la presión de traspaso 5000 lpc. Se disminuye la presión en la celda a intervalos de

1000 lpc pero no registramos dichas lecturas ya que solamente nos interesan las que están por debajo del punto de burbuja.

2.- Cuando llegamos a la presión de burbuja (en nuestro caso 330 lpc), cerramos la válvula 1 y aumentamos la presión a 5000 lpc y tomamos la lectura en la bomba, la cual es la lectura al punto de burbuja, luego bajamos la presión a 330 lpc y abrimos la válvula 1 después disminuimos la presión a 200 lpc y esperamos el tiempo ya estimado anteriormente.

3.- Ya transcurrido el tiempo, detenemos el agitador, cerramos la válvula 1 y aumentamos la presión a 5000 lpc determinando la lectura en la bomba antes de la extracción del gas ya desprendido de la muestra (Liegb), bajamos a 200 lpc y abrimos la válvula 1 y a la válvula superior de salida de la celda conectamos una línea la cual tiene un matraz como trampa u que esta conectada a un cromatógrafo y a un medidor de gas del cual tomamos la lectura inicial antes de extraer el gas (Liegg). Abrimos la válvula 3 lentamente y tenemos que mantener la presión de 200 lpc hasta que se sienta un aumento brusco en el manómetro o simplemente se note la salida de crudo por la línea que contiene el matraz, entonces cerramos la válvula 3 después la 1 y aumentamos la presión a 5000 lpc registrando la lectura de la bomba luego que se ha extraído el gas de la muestra (Lfegb). Disminuimos la presión y abrimos la válvula 1, disminuimos 100 lpc.

4.- Mientras se estabiliza la celda a la nueva presión, medimos la cantidad de gas en el gasómetro lo que nos dio una lectura (Lfegg) a la vez también el análisis cromatográfico nos da la composición y el equipo esta adecuado también para que determine la densidad del gas y también su compresibilidad Z.

5.- Hacemos las lecturas de todos los parámetros determinados en el paso anterior pero ahora para 100 lpc.

6.- Cuando tengamos que realizar el ultimo paso a 0 lpc tuvimos que tener en cuenta de manejar con mucho cuidado para que no se eleve demasiado la presión en el manómetro por lo que este paso se vuelve un procedimiento lento y de cuidado, la lectura final la tomamos cuando se sube bruscamente la presión el manómetro o cuando vemos salida de crudo por la línea que conduce a la trampa, cerramos la válvula 3 al igual que la 1 y hacemos el procedimiento par 0 lpc.

7.- Ya a esta presión el último paso que nos quedo es sacar el crudo residual dentro de la celda, hacemos girar el manubrio en sentido de las manecillas del reloj hasta que aumente bruscamente la presión o simplemente salga mercurio por la válvula 3 de la celda.

Al crudo residual se lo coloco en un recipiente previamente pesado y así determinamos la masa de petróleo residual (M_{or}) al cual le sacamos el volumen (V_{or}) a condiciones normales. Ya que estos valores se utilizaron en los cálculos de los diferentes parámetros de ingeniería de yacimientos.

Una consideración en la realización de todos estos procedimientos, es que siempre se tuvo en cuenta que la celda P.V.T. debe estar agitándose lo que nos asegura una homogeneización de los fluidos dentro de dicha celda, dando resultados mas confiables si no se la agita.

Al igual que en la recalibración de los equipos fue necesaria la colaboración de compañeros para manejar los equipos en las operaciones en que era indispensable más de dos personas.

CAPITULO VI

CALCULOS MANUALES Y COMPUTARIZADOS

6.1 DOCUMENTOS DE LAS HOJAS DE CALCULO

El calculo 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 muchísima importancia debido a la cantidad de variables y correcciones que es necesario manejar.

A continuación detallaremos un instructivo de los cálculos que se realizan tanto a mano, como en el programa de computadora. El instructivo cubre los aspectos correspondientes a :

- La nomenclatura
- El registro de los datos
- La secuencia de los cálculos listados del programa

NOMENCLATURA Y REGISTRO DE DATOS

Es muy importante que antes de realizar cualquier tipo de cálculos tanto a mano como a computadora, tengamos un conocimiento previo de cuales son las variables y constantes que se manejan y para eso es muy importante la realización de un listado que incluya toda estas variables y constantes con su significado y si es posible los valores que corresponden a cada una de estas.

DATOS GENERALES

Po : presión atmosférica en el lugar

Pb : presión base o normal

Tb : temperatura base o normal

Pcb : presión de calibración de bomba

Pcc : presión de calibración de celda

Tcc : temperatura de calibración de celda

Fcb : factor de calibración de bomba

Fcct : factor de calibración de celda por temperatura

Fccp : factor de calibración de calda por presión

Vcc : volumen de calibración de celda

DATOS DEL TRASPASO

Pt : presión de traspaso

Litb : lectura inicial de traspaso de bomba

Lftb : lectura final de traspaso de bomba

Titb : temperatura inicial de traspaso de bomba

Tftb : temperatura final de traspaso de bomba

Titc : temperatura inicial de traspaso de celada

Tftc : temperatura final de traspaso de celda

DATOS DEL CALENTAMIENTO

Pt : presión de traspaso

Licb : lectura inicial de calentamiento de bomba

Lfcb : lectura final de calentamiento de bomba

Ticb : temperatura inicial de calentamiento de bomba

Tfcb : temperatura final de calentamiento de bomba

Ticc : temperatura inicial de calentamiento de celda

Tfcc : temperatura final de calentamiento de celda

DATOS DE LIBERACION INSTANTANEA

P : presión del sistema

Lb : lectura en bomba

Tb : temperatura en bomba

DATOS DE LA LIBERACION DIFERENCIAL

P : presión del sistema a partir del punto de burbujeo

Liegb : lectura inicial de extracción de gas en la bomba

Lfegb : lectura final de extracción de gas en la bomba

Liegg : lectura inicial de extracción de gas en el gasómetro

Lfegg : lectura final de extracción de gas en el gasómetro

Tegb : temperatura de extracción de gas en bomba

Tfegg : temperatura final de extracción de gas en el gasómetro

GE : gravedad específica del gas extraído

Nota : las presiones en la celda pueden ser menores a la presión 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 para la liberación instantánea y la liberación diferencial.

Estos cálculos son:

CON LOS DATOS DEL TRASPASO

- Volumen de muestra traspasada desde la botella ala celda

$$V_m @ Pt, Tt = (L_{fb} - L_{itb}) * F_{cb} * (1 + P_{cb} * ChgTtb) * (\xi_{Ttc} / \xi_{Ttb}) * (1 - Pt * ChgTtc)$$

Donde :

$ChgTtb$: es la compresibilidad del mercurio a temperatura promedio en bomba

ξ : volumen relativo del mercurio a temperatura promedia en la celda

- Volumen de celda a condiciones de traspaso

$$V_c @ Pt, Tt = V_{cc} + (Pt - P_{cc}) * F_{ccp} + (Tt - T_{cc}) * F_{cct}$$

- Volumen de mercurio en celda

$$V_{hg} @ Pt, Tt = V_c @ Pt, Tt - V_m @ Pt, Tt$$

CON LOS DATOS DEL CALENTAMIENTO

- Volumen de mercurio extraído de la celda al calentarse de T_t a T_{fcc} , manteniendo $P_t = \text{constante}$

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

- Expansión del mercurio dentro de la celda

$$Exp \text{ Hg} = (V_{hg} @ P_t, T_t) * \{ (1 + P_t * ChgT_{icc}) * (\xi T_{fcc} / \xi T_{icc}) * (1 - P_t * ChgT_{fcc}) - 1 \}$$

- Expansión de la celda

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

- Expansión de la muestra en la celda

$$Exp \text{ M} = V_{hg \text{ Ext}} + Exp \text{ C} - Exp \text{ Hg}$$

- Volumen de la muestra a P_t, T_{fcc}

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

- Volumen de la celda a P_t, T_{fcc}

$$V_c @ Pt, Tf_{cc} = V_c @ Pt, T_t + Exp C$$

- Volumen de mercurio en la celda a Pt, Tf_{cc}

$$V_{hg} @ Pt, Tf_{cc} = V_c @ Pt, Tf_{cc} - V_m @ Pt, Tf_{cc}$$

- Coeficiente de expansión térmico de la muestra

$$Beta = (2 * Exp M) / [(V_m @ Pt, T_t + V_m @ Pt, Tf_{cc}) * (Tf_{cc} - T_{icc})]$$

- Determinación del volumen de petróleo residual

$$\text{Gravedad del petróleo residual @ } T_a, P_a = 33 \text{ o API}$$

$$\text{Gravedad API usando tablas de corrección por temperatura} = 31.4 \text{ o API}$$

$$\text{Densidad del petróleo residual a CN} = 0.8682$$

$$[\text{ peso de vaso + petróleo}] - [\text{ peso de vaso}]$$

$$Vor = \frac{\text{-----}}{\text{Densidad del petróleo residual}} =$$

$$Vor = 60.25697 \text{ cc.}$$

SECUENCIA DE LOS CALCULOS

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

CALCULOS EN LA LIBERACION INSTANTÁNEA

COLUMNA 1

P : es la presión del sistema, es un dato

COLUMNA 2

Lb : es la lectura en la bomba en divisiones, es un dato

COLUMNA 3

ΔLb : 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 que será usado posteriormente

COLUMNA 5

Vgh Ext : es el volumen de mercurio que se extrae debido a la disminución de presión.

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

Donde :

K1 : es una constante que la detallaremos al final

COLUMNA 6

Enc C: es el encogimiento de la celda debido a la disminución de presión

Se calcula como: $[(1.i) - (1)] * Fccp$

Donde :

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

COLUMNA 7

Exp hg ; es la expansión de mercurio debida a la disminución de presión

Se calcula como; $[(1.i) - (1)] * K2$

Donde :

K2 : es una constante detallada al final

COLUMNA 8

Exp M : es la expansión de la muestra debido a la disminución de presión

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

COLUMNA 9

Vm : es el volumen de la muestra a estas condiciones de presión y temperatura

Se calcula como : K3 + (8)

Donde :

K3 : es una constante que detallaremos al final

COLUMNA 10

Vc : es el volumen de la celda a estas condiciones de presión y temperatura

Se calcula como: K4 – (6)

Donde :

K4 : 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: $K5 - (5) + (7)$

Donde :

K5 : 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: $(9) / K6$

Donde :

K6 : es una constante detallada al final

COLUMNA 13

C_o : es la compresibilidad del petróleo

Se calcula como: $[2 * (8)] / \{ [(9.i) + (9)] * [(1.i) - (1)] \}$

Donde :

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

Los valores de K_1 K_n son constantes que deben ser calculadas al principio para su uso, estas constantes son:

$$K_1 = (1 + P_{cb} * chgT_{tb}) * F_{cb} * (\xi T_{fcc} / \xi T_b)$$

$$K_2 = [V_{hg} @ P_t, T_{fcc}] * ChgT_{fcc}$$

$$K_3 = V_m @ P_t, T_{fcc}$$

$$K_4 = V_c @ P_t, T_{fcc}$$

$$K_5 = V_{hg} @ P_t, T_{fcc}$$

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

9	10	11	12	13
Vm	Vc	Vhg	Vrel	Co
K3 + (8)	K4 - (6)	K5 - (5) + (7)	(9) / K6	
89.3416	657.2324	567.8908	0.9576	0
89.9476	657.1865	567.2389	0.9641	6,76*10 ⁻⁶
90.5954	6,571,406	566.5452	0.9711	6,97*10 ⁻⁶
91.3069	657.0947	565.7878	0.9787	7,25*10 ⁻⁶
92.0957	657.0488	564.9531	0.9872	7,59*10 ⁻⁶
92.5350	657.0258	564.4908	0.9919	7,80*10 ⁻⁶
92.6590	657.0213	564.3623	0.9932	7,92*10 ⁻⁶
92.8971	657.0185	564.1214	0.9958	8,37*10 ⁻⁶
93.2928	6570180	563.7252	10000	9,27*10 ⁻⁶
94.4823	657.0171	562.5348	1.0128	
107.5353	657.0139	549.4786	1.1527	
117.5516	657.0130	539.4614	1.2600	

CALCULOS EN LA LIBERACION DIFERENCIAL

COLUMNA 1

P : es la presión del sistema, es un dato

COLUMNA 2

Liegb : es la lectura inicial de extracción de gas en la bomba, es un dato

COLUMNA 3

Lfegb : es la lectura final de extracción de gas en la bomba, es dato

COLUMNA 4

$\Delta Lfegb$: es la diferencia de lecturas finales de extracción de gas en la bomba

Se calcula como: $(3.i) - (3.i-1)$

Donde :

i varia de 1 hasta el numero de etapas en la liberación diferencial

COLUMNA 5

$(1 - P * ChgTc)$: factor de corrección, adimensional

se calcula como : $1 - \{ (1) * ChgTc \}$

COLUMNA 6

Vhg Iny : es el 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

Vhg iny acum : es el volumen de mercurio inyectado acumulado

Se calcula como : $\Sigma (6)$

COLUMNA 8

ΔP : es la diferencia de presiones

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

Donde :

(1.i) : es el valor inicial de presión

COLUMNA 9

En C: es el encogimiento de la celda debido a la disminución de presión

Se calcula como: $(8) * F_{ccp}$

COLUMNA 10

$V_{hg \text{ Iny } C}$: es el volumen de mercurio inyectado en la celda

Se calcula como : $K2 + (7)$

Donde :

$K2$: es una constante detallada al fina

COLUMNA 11

$Exp \text{ Hg}$: es la expansión del mercurio, debido a la disminución de presión

Se calcula como: $(10) * (8) * ChgTc$

COLUMNA 12

$V(\text{oil} + \text{gas dis})$: es el volumen de petróleo mas gas disuelto a condiciones de yacimiento

Se calcula como : $K3 - (7) - (9) - (11)$

Donde:

$K3$: es una constante calculada en la liberación instantánea

COLUMNA 13

ΔL_{egb} : es la diferencia de lecturas en la extracción de gas en la bomba

Se calcula como : (3) - (2)

COLUMNA 14

$V_g \text{ Ext Cy}$: es el volumen de gas extraído a condiciones de yacimiento

Se calcula como : (13) * (5) * K1

Donde :

K1 : es la constante calculada en la liberación instantánea

COLUMNA 15

$V_g \text{ Prod Cl}$: es el volumen de gas producido a condiciones de laboratorio

Se calcula como: $L_{fegg} - L_{iegg}$, que son las lecturas de gas en el gasómetro

COLUMNA 16

$V_g \text{ Prod Cn}$: es el volumen de gas producido a condiciones normales

Se calcula como : (15) * K4

Donde :

K4 : es una constante que detallaremos al final

COLUMNA 17

Vg Prod Cn acum : es el volumen de gas producido a condiciones normales acumulado

Se calcula como: $Z (16)$

COLUMNA 18

Vg Ideal Cy : es el volumen de gas ideal producido a condiciones de yacimiento

Se calcula como : $[(16) * K5] / (1)$

Donde :

K5 : es una constante que la detallaremos al final

COLUMNA 19

SG : es la gravedad especifica del gas en cada etapa.

Se calcula gravimétricamente, es un dato

COLUMNA 20

ρ Gas Prod : es la densidad del gas producido en cada etapa

Se calcula como: $(19) * K6$

Donde :

K_6 : es una constante detallada al final

COLUMNA 21

M Gas Prod : es la masa de gas producido en cada etapa

Se calcula como: $(16) * (20)$

COLUMA 22

M Gas Prod acum : es la masa de gas producido acumulado

Se calcula como : $\Sigma(21)$

COLUMNA 23

V Gas dis Cn : es el 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 Gas dis : es la 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 (oil + Gas dis) : es la masa del petróleo mas gas disuelto en cada etapa

Se calcula como : $M_{or} + (24)$

Donde :

M_{or} : es la masa del petróleo residual

COLUMNA 26

R_s : es la relación gas – petróleo en cada etapa

Se calcula como: $(23) / K_7$

Donde :

K_7 : es una constante detallada al final

COLUMNA 27

$(R_{si} - R_s)$: es la diferencia entre la relación gas – petróleo inicial y la 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: $(12) / K7$

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 termino en la ecuacion del factor volumétrico total

se calcula como : $(27) * (29)$

COLUMNA 31

Bt : es el factor volumétrico total en cada etapa

Se calcula como: (28) + (30)

COLUMNA 32

ρ_o Cy : es la densidad del petróleo a condiciones de yacimiento

Se calcula como: (25) / (12)

COLUMNA 33

Prod Acum : es la producción acumulada del gas producido en cada etapa

Se calcula como : (17) / (17.f)

Donde :

(17.f) : se refiere al valor final de la columna 17

COLUMNA 34

Z : es el factor de desviación del gas en cada etapa

Se calcula como: (14) / (18)

Los valores de K2, K4, K5, K6 y K7 son constantes que deben ser calculadas al inicio para su uso.

Estas constantes son :

$K2 = V_{hg} @ P_b, T_{fcc}$ (es el valor de la columna 11 en el punto de burbujeo en la liberación instantánea)

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

Donde :

P_{at} : es la presión atmosférica en lpca

T_b : es la temperatura base o normal en o F

P_b : es la presión base o normal en lpca

T_L : es la temperatura promedio en el laboratorio

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

Donde :

T_c : es la temperatura en la celda igual a la del yacimiento

$K6 = 0.0012231094$ grs / cc, es la densidad del aire

$K7 =$ es el volumen de petróleo residual a condiciones normales (Vor)

CALCULOS DE LA LIBERACION DIFERENCIAL

1	2	3	4	5	6	7	8
P	Lieg b	Lfeg b	Lfeg	(1-P)ChgTc	Vhg iny	Vhg iny ac	P
DATO	DATO	DATO	(3.I)(3.I-1)	1-{(1) ChgTc}	(4)(5) K1	S (6)	(1.I)-(1)
330	142.194	142.194	0	0.9999	0	0	0
200	94.226	149.074	6.88	0.9999	6.9326	6.9326	130
100	12.681	162.314	13.24	0.9999	13.341	20.2736	230
0	65.174	163.298	0.984	1	0.9912	21.2648	330

9	10	11	12	13	14	15	16
Enc C	Vhg iny C	Exp Hg	V(o+g) cy	Legb	Vg ext cy	Vg prod y	Vg prod n
(8) Focp	K2+ (7)	(10)(8)Chg Tc	K3-(7)-(9)-(11)	(3) - (2)	(13) (5) K1	Lfegg-Liegg	(15)K4
0	563.7252	0	93.2928	0	0	0	0
0.005967	570.6578	0.02399	86.3302	54.848	55.2666	606	577.2838
0.01056	583.9988	0.04344	72.9652	149.634	150.7759	930	885.9459
0.01515	584.99	0.06243	71.9504	98.124	98.8728	1020	961.6826

17	18	19	20	21	22	23	24
Vg acm cy	Vg ideal cy	SGg prod	Pg prod	Mg prod	Mg prod ac	Vg dis cn	M gas dis
S (16)	(16) K5 / (1)	DATO	(19) K6	(16) (20)	S (21)	(17.f)-(17)	(22.f)-(22)
0	0	0	0	0	0	2434.9223	4.4499
577.2838	56.058	1.2101	0.00148	0.8544	0.8544	1857.6285	3.5955
1463.2397	172.0592	1.4773	0.00181	1.6036	2.458	971.6826	1.9919
2434.9223		1.673	0.00205	1.9919	4.4499	0	0

25	26	27	28	29	30	31	32
M(o-gdls)	Rs	Rsi-Rs	Bo	Bg	(Rsi-Rs)Bg	Bt	po cy
Mor + (22)	(23)/K7 5.615	(26.i)-(26)	(12) / K7	(14) / (16)	(27) (28)	(28) + (30)	(25) / (12)
55.765	226.8964	0	1.5482	0	0	0	0.6085
55.9106	173.1017	53.7947	1.4327	0.9573	5.15	6.5827	0.6476
54.307	90.5455	136.3509	1.2109	0.17012	23.196	24.4069	0.7443
52.3151	0	226.8964	1.1935	0.10176	23.0899	24.2835	0.7277

33	34
Prod acm	Z
(17) / (17.1)	(14) / (18)
0	
0.2371	0.98589
0.6009	0.8763
1	

6.2 DIAGRAMA DE FLUJO

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

Una vez hecho el cálculo a mano, presentamos en forma resumida, por medio de diagramas de flujo, en las Figuras 6.1, 6.2 y 6.3 en ellos se indica la procedencia de los datos y la secuencia en las operaciones.

Fig. 6.1 CALCULO DE LOS VOLUMENES DE LA MUESTRA A CONDICIONES DE YACIMIENTO

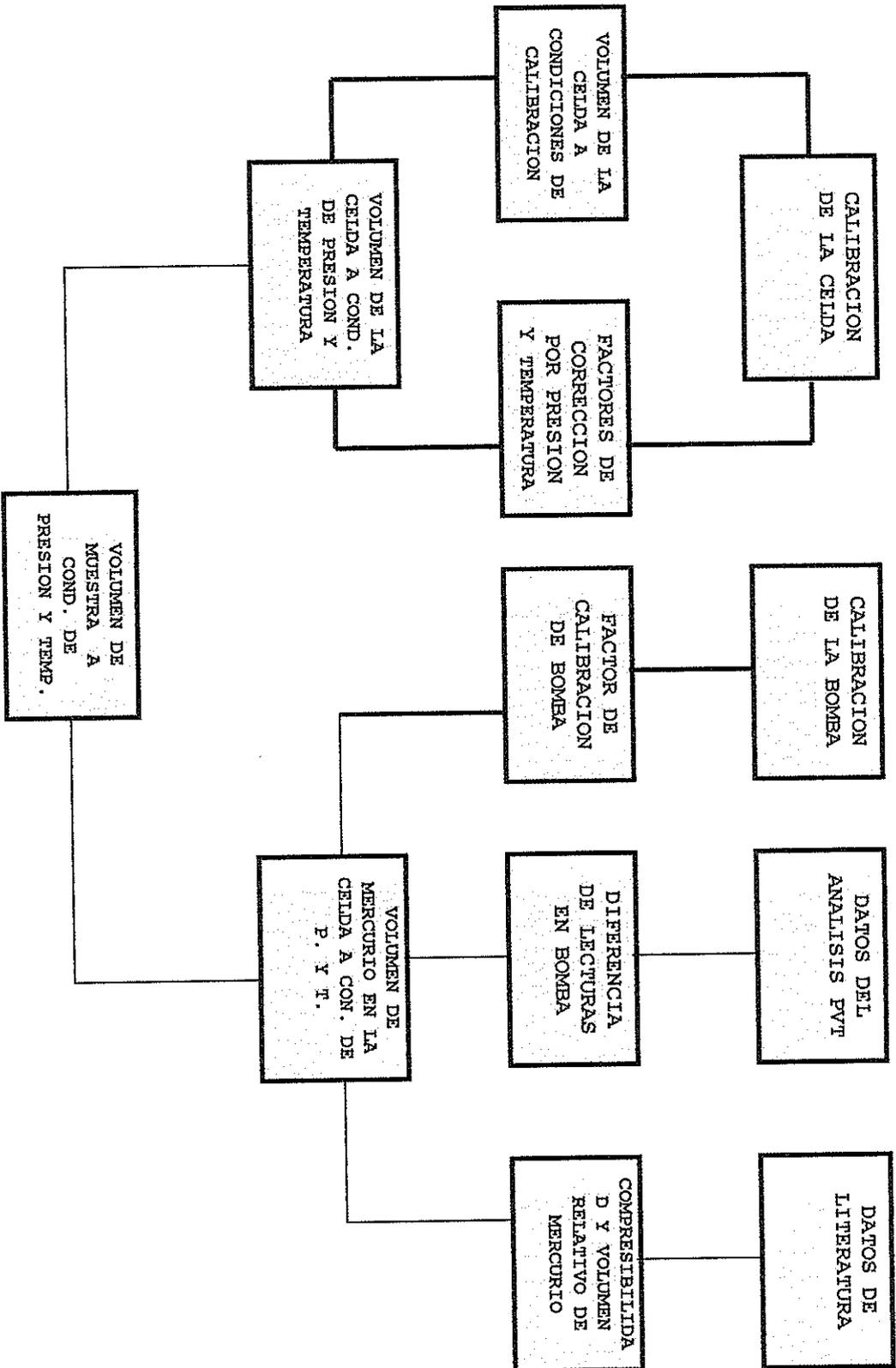


Fig. 6.2 CALCULO DEL COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA DE LA MUESTRA

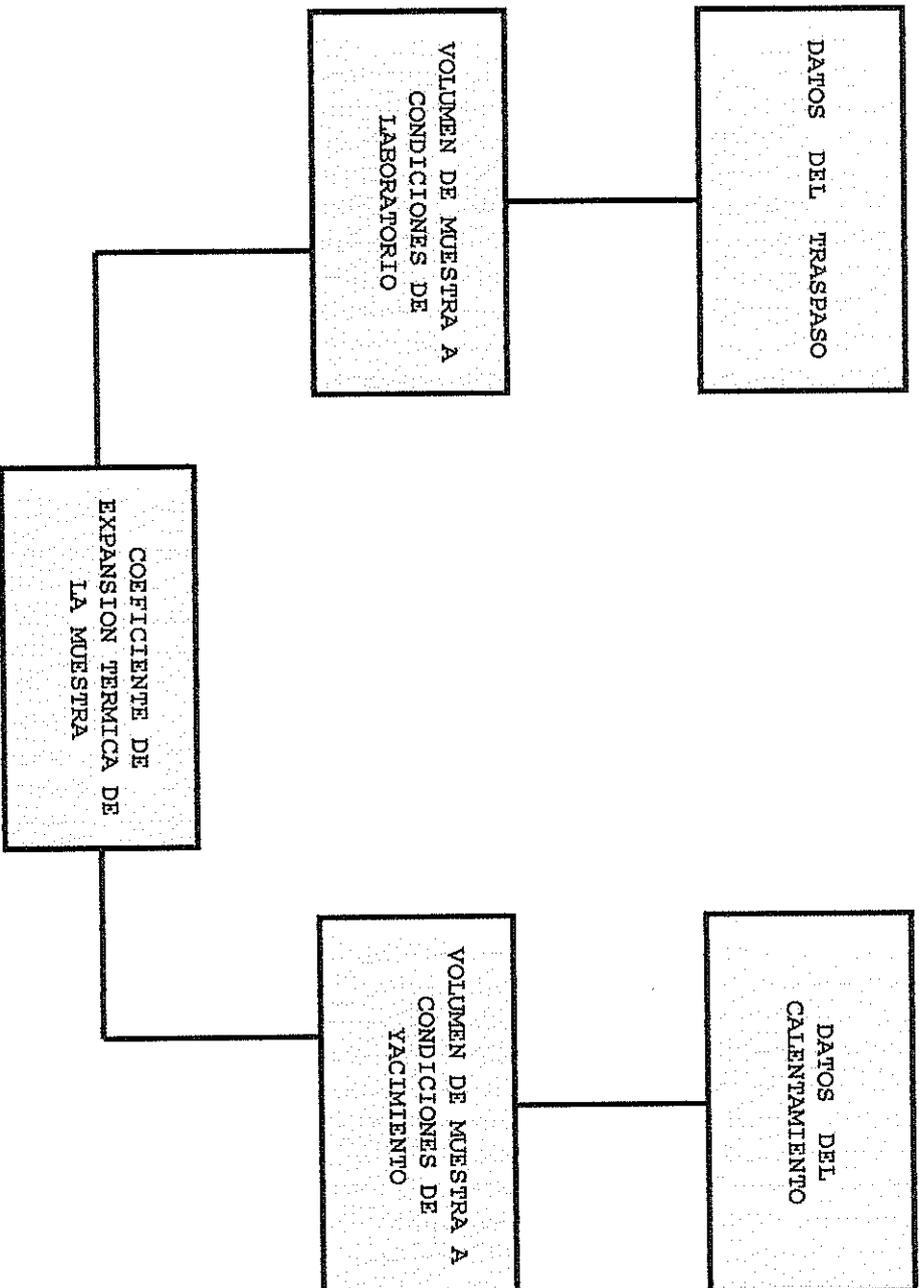
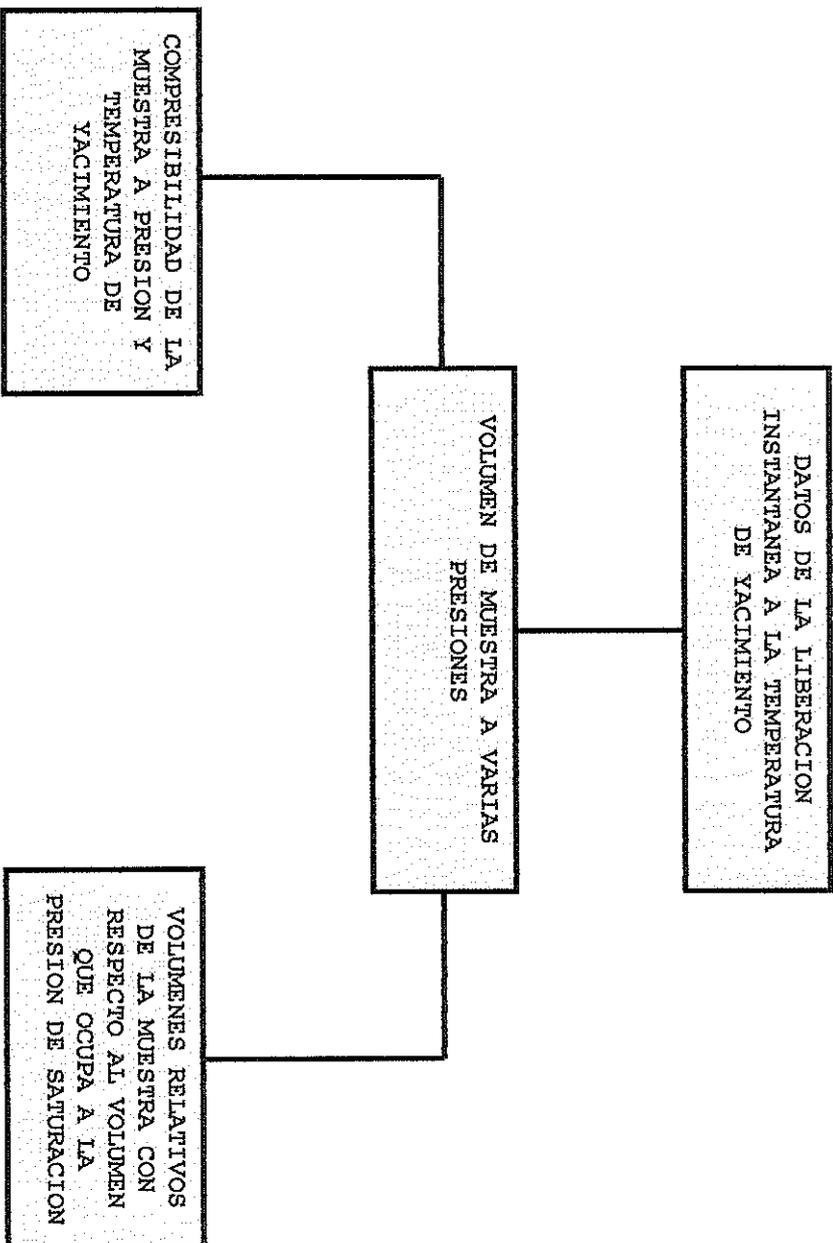


Fig. 6.3 CALCULO DE COMPRESIBILIDAD Y VOLUMEN RELATIVO DE LA MUESTRA



DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROGRAMA

Programa realizado en el lenguaje C++.
Se utiliza modo gráfico con una resolución de 1024 * 768 y así lograr una mayor precisión en los gráficos.

El programa esta compuesto de un conjunto de archivos:

Ejecutable (proyecto.exe).
Librerías (libreria.h,calculos.h,etc).
Archivos con las plantillas para las distintas tablas (los de extensión "tmp").
Gráficos para la presentación (los de extensión "bmp").
Archivo BGI (sin el cual el modo gráfico no funcionaría).

Todos los archivos son indispensables para el correcto funcionamiento del programa.

El programa puede ser ejecutado en Windows o DOS, siempre y cuando el monitor pueda soportar la resolución antes mencionada, es decir 1024*768.

Los datos ingresados por el usuario durante la ejecución del programa, se almacenan en un conjunto de archivos identificados por el nombre del archivo proporcionado por el usuario así como por una extensión representativa de los datos contenidos en el archivo, así si la extensión es:

"dg" El archivo contiene los Datos Generales
"dt" El archivo contiene los Datos de Traspaso
"dl" El archivo contiene los Datos de Liberación Instantanea
"dlD" El archivo contiene los Datos de Liberación Diferencial
"dc" El archivo contiene los Datos de Calentamiento

En cuanto al tratamiento de los datos proporcionados por el usuario, se utilizaron varios métodos de análisis numérico, para la realización de los cálculos requeridos y la elaboración de las graficas necesarias.

Los datos fueron agrupados en la siguiente forma:

DATOS GENERALES

Po : presión atmosférica en el lugar

Pb : presión base o normal

Tb : temperatura base o normal

Pcb : presión de calibración de bomba

Pcc : presión de calibración de celda

Tcc : temperatura de calibración de celda

Fcb : factor de calibración de bomba

Fcct : factor de calibración de celda por temperatura

Fccp : factor de calibración de celda por presión

Vcc : volumen de calibración de celda

DATOS DEL TRASPASO

Pt : presión de traspaso

Litb : lectura inicial de traspaso de bomba

Lftb : lectura final de traspaso de bomba

Tb : temperatura en bomba

Lb : lectura en bomba

P : presión del sistema

DATOS DE LIBERACION INSTANTANEA

Tfcc : temperatura final de calentamiento de celda

Ticc : temperatura inicial de calentamiento de celda

Tfcb : temperatura final de calentamiento de bomba

Ticb : temperatura inicial de calentamiento de bomba

Lfcb : lectura final de calentamiento de bomba

Licb : lectura inicial de calentamiento de bomba

Pt : presión de traspaso

DATOS DEL CALENTAMIENTO

Tffc : temperatura final de traspaso de celda

Tfic : temperatura inicial de traspaso de celada

Tffb : temperatura final de traspaso de bomba

Tifb : temperatura inicial de traspaso de bomba

DATOS DE LA LIBERACION DIFERENCIAL

P : presión del sistema a partir del punto de burbujeo

Liegb : lectura inicial de extracción de gas en la bomba

Liegb : lectura final de extracción de gas en la bomba

Liegg : lectura inicial de extracción de gas en el gasómetro

Liegg : lectura final de extracción de gas en el gasómetro

Tegb : temperatura de extracción de gas en bomba

Tiegg : temperatura final de extracción de gas en el gasómetro

GE : gravedad específica del gas extraído

CAPITULO VII

PRESENTACION DEL INFORME TÉCNICO

7.1 CONSIDERACIONES GENERALES

En las siguientes paginas se presentan los resultados de las características de las muestras tomadas de la muestra de fondo del pozo ABUELO. Una fracción de la muestra fue transferida a nuestro equipo para la determinación de las relaciones presión – volumen lo cual nos determino la presión de saturación de la muestra a condiciones del laboratorio, la cual fue 330 lpc a 84 °F. Esta muestra fue reprecionada para asegurar la presencia de una sola fase y se le procedió a realizar la liberación diferencial.

Una segunda fracción de la muestra fue utilizada para analizar las relaciones presión – viscosidad a las mismas presiones que se realizo la liberación diferencial. La prueba de separador fue analizada a presión de separador de 25 lpc y a la temperatura de 100 ° F.

7.2 DATOS VOLUMETRICOS

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA LABORATORIO DE YACIMIENTOS, PETROFISICA Y FLUIDOS

Pozo : ABUELO

Fecha :

DATOS VOLUMETRICOS

Presion de saturacion = 330 Lpc a 227 ° F

Relacion gas disuelto - petroleo a 330 Lpc = 227 PCY / BN

Factor Volumetrico del petroleo = 1,5508 BY / BN

Densidad del petroleo = 0,8602 grs / cc.

PETROLEO RESIDUAL

Gravedad API = 33 ° API a 84 ° F

Densidad a CN = 0,8686 grs / cc.

Masa del petroleo residual = 52,31504 grs.

Volumen del petroleo residual = 60,25695 cc.

7.3 RELACIONES DE PRESION Y VOLUMEN

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
LABORATORIO DE YACIMIENTOS, PETROFISICA Y FLUIDOS**

Pozo : ABUELO

Fecha :

RELACIONES DE PRESION Y VOLUMEN

Temperatura en la celda = 227 ° F

PRESION Lpcm	VOLUMEN RELATIVO	COMPRESIBILIDAD x 10 ⁻⁵
5000	0.95713	0.0000
4000	0.96374	6.8820
3000	0.97080	7.0887
2000	0.97854	7.3731
1000	0.98711	7.7086
500	0.99188	7.9232
400	0.99321	8.0426
340	0.99576	8.4905
330	1.00000	9.3808
310	1.01270	1.2036
240	1.15240	3.8896
220	1.25960	5.7090

7.4 LIBERACION DIFERENCIAL

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
LABORATORIO DE YACIMIENTOS, PETROFISICA Y FLUIDOS

Pozo : ABUELO

Fecha :

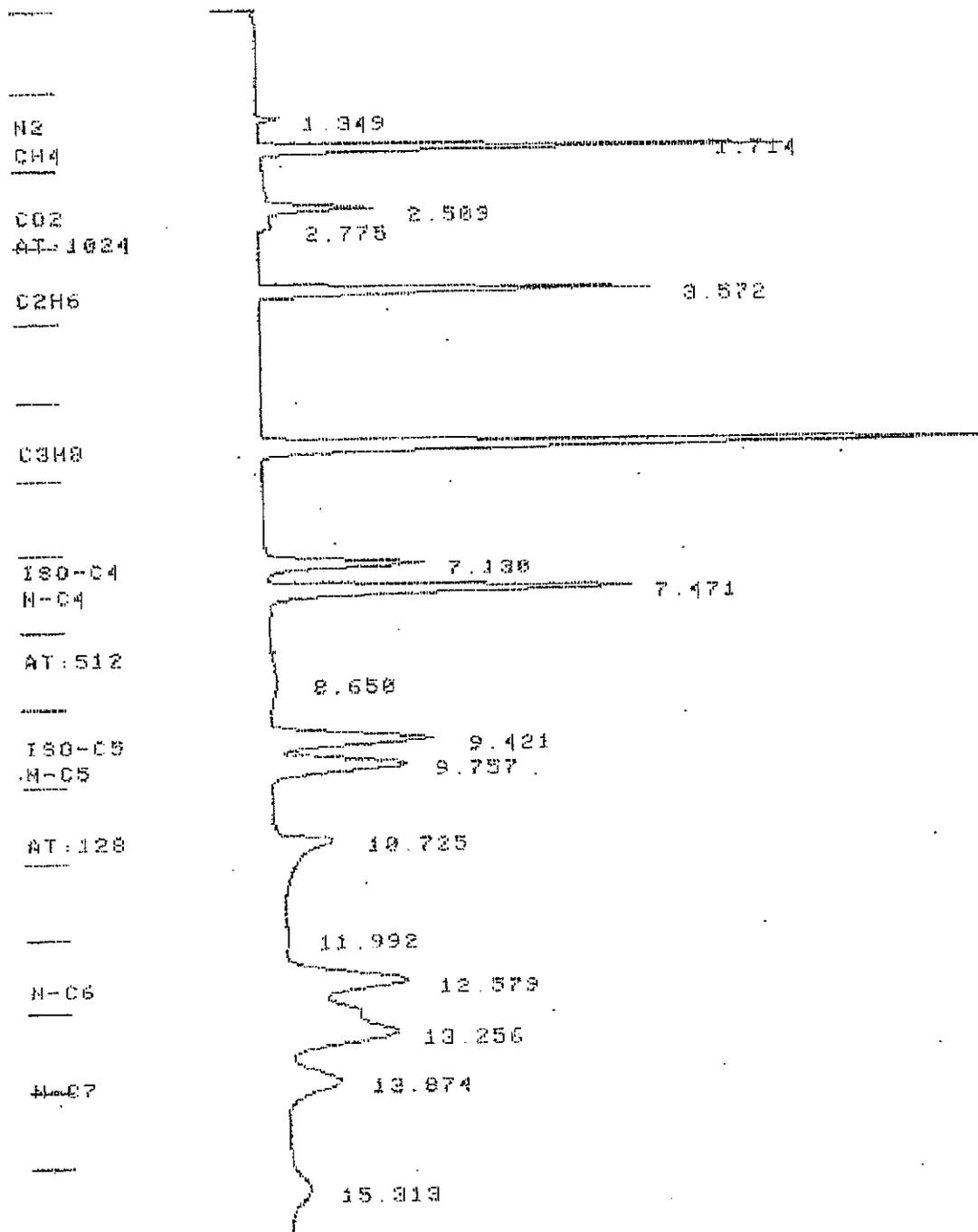
RELACIONES DE PRESION Y VOLUMEN

Temperatura en la celda = 227 ° F

PRESION	RELACION GAS DIS-PET.	FAC. VOL. DEL PET.	DENSIDAD DEL PET.
Lpcm	PCN / BN	BY / BN	Grs / cc.
330	226.9	1.5508	0.60737
200	173.1	1.4353	0.64038
100	90.546	1.2136	0.74261
0	0	1.1967	0.72548

7.5 CROMATOGRAFIA DEL GAS @ (200, 100, 50, 0) Lpc.

CHART SPEED 1.0 CM/MIN
ATTEN: 100 ZERO: 10% 1 MIN/TICK



NATURAL GAS ANALYSIS AND PROPERTIES

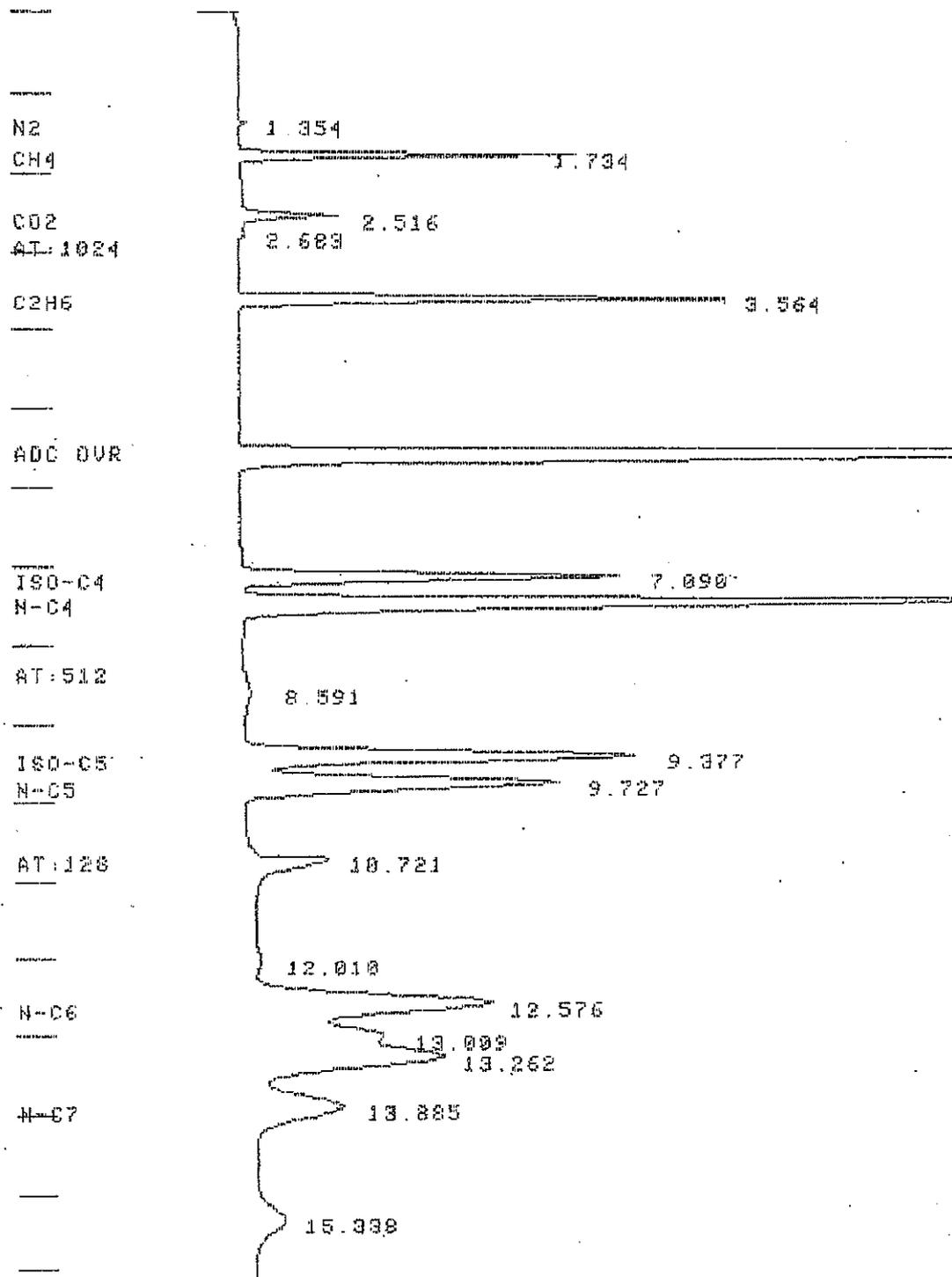
REPORT

NO.	NAME	MOL%	VP	SG	G/N	BTU
1	N2	0.0635	86.352	0.0003	0.0944	0.0000
2	CO4	36.6217	1851.0	0.2020	4.1920	369.87
3	CO2	6.6097	99.145	0.1004	1.1237	0.0000
4	C2H6	14.1551	113.24	0.1469	3.7771	250.40
5	C3H8	24.9906	45.255	0.3692	4.9953	603.62
6	I50-C4	3.5961	2.6100	0.0721	1.1736	116.74
7	N-C4	9.3403	4.5294	0.1874	2.9301	304.70
8	I50-C5	1.8255	0.3732	0.0454	0.6663	73.035
9	N-C5	2.0926	0.3118	0.0498	0.7236	80.204
10	N-C6	0.6516	0.0323	0.0193	0.2673	30.990
11	N-E7	0.3433	0.0055	0.0118	0.1500	18.092
TOTALS :		100.000	2185.2	1.2101	23.711	1948.0

Compressibility factor, Z = 0.9899

CROMATOGRAFÍA DEL GAS A 200 Lpc.

CHART SPEED: 1.0 CM/MIN
 ATTEN: 128 ZERO: 10% 1 MIN/TICK



NATURAL GAS ANALYSIS AND PROPERTIES

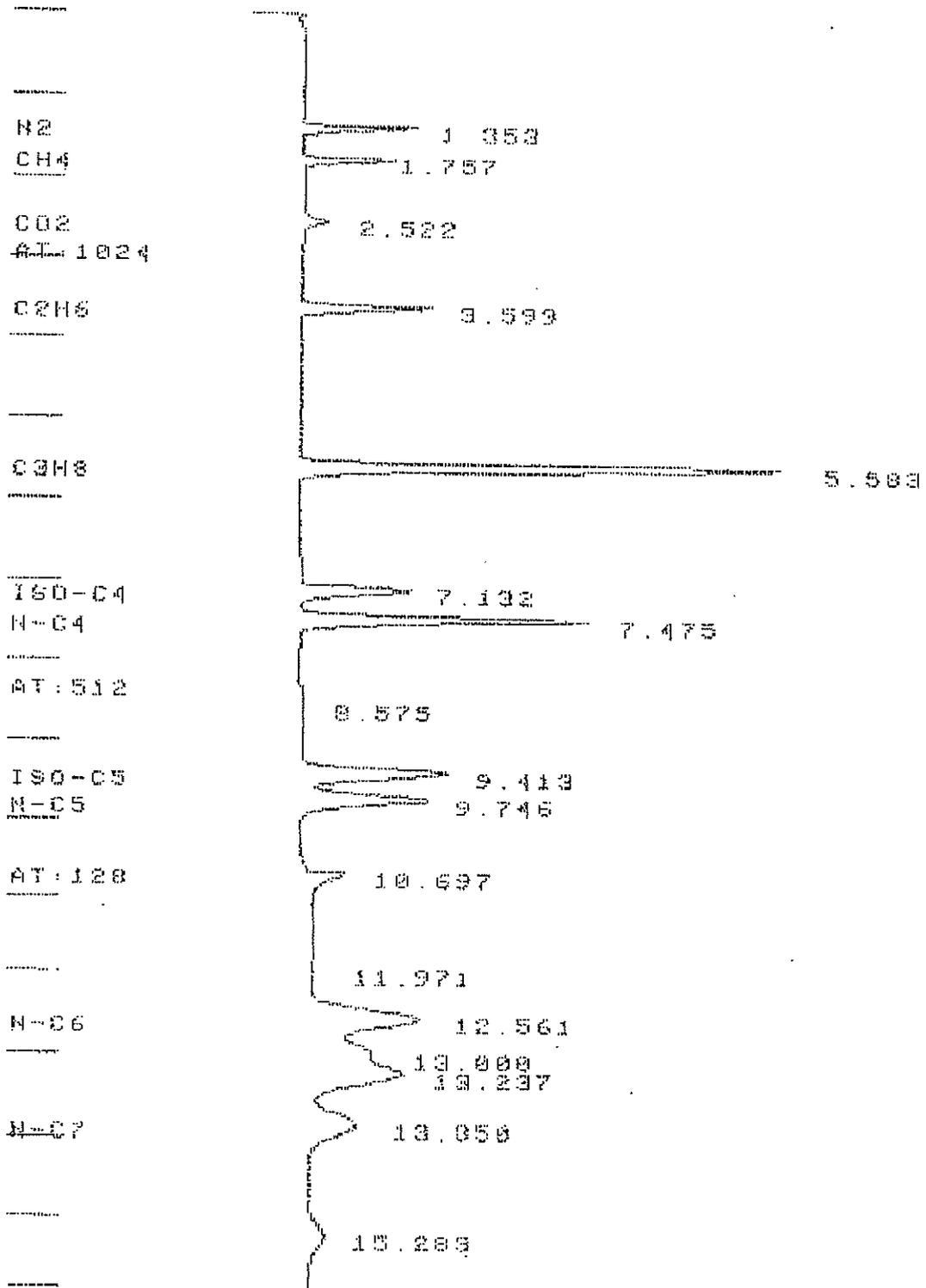
REPORT

NO.	NAME	MOL%	VP	SG	G/M	BTU
1	N2	0.2266	22.656	0.0021	0.0247	0.0000
2	CH4	17.3701	860.50	0.0962	2.9373	175.43
3	CO2	3.8807	58.210	0.0559	0.6599	0.0000
4	C2H6	14.3380	114.70	0.1488	3.8259	253.72
5	C3H8	34.0103	64.172	0.5179	9.3521	855.93
6	ISO-C4	6.0623	4.4001	0.1216	1.9786	197.14
7	N-C4	16.0196	8.2831	0.3214	5.0392	522.60
8	ISO-C5	3.3158	0.6779	0.0826	1.2104	132.66
9	N-C5	3.4171	0.5321	0.0851	1.2347	136.90
10	N-C6	0.9316	0.0462	0.0277	0.3822	44.304
11	N-C7	0.4199	0.0060	0.0145	0.1932	23.103
TOTALS :		100.0000	1142.1	1.4773	26.850	2341.9

Compressibility Factor, Z = 0.9838

CROMATOGRAFÍA DEL GAS A 100 Lpc

CHART SPEED 1.0 CM/MIN
 ATTEN: 128 ZERO: 10% 1 MIN/TICK



NATURAL GAS ANALYSIS AND PROPERTIES

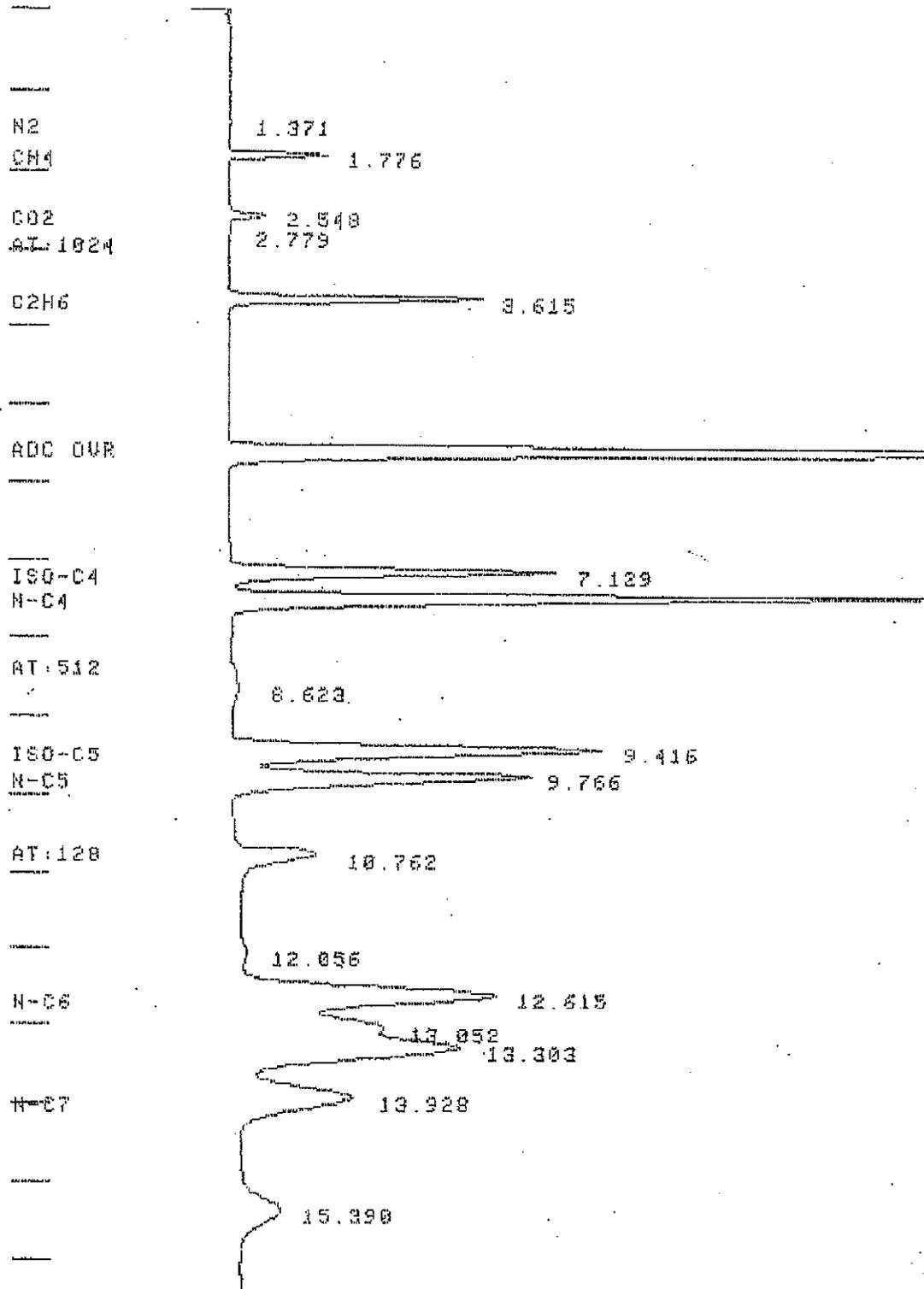
REPORT

NO.	NAME	MOLE %	SP	SG	R/M	BTU
1	N ₂	30.4166	1091.6	0.1067	1.1395	0.0200
2	CH ₄	12.5527	627.63	0.0495	2.1227	126.78
3	CO ₂	2.0774	31.161	0.4315	0.3532	0.0000
4	C ₂ H ₆	11.1000	88.000	0.1132	2.9618	196.42
5	C ₃ H ₈	30.6396	57.798	0.4668	6.4232	770.92
6	ISO-C ₄	6.6552	4.8303	0.1335	2.1721	216.41
7	N-C ₄	15.8663	0.2030	0.3184	4.9989	517.60
8	ISO-C ₅	4.2413	0.0871	0.1056	1.3483	169.69
9	N-C ₅	4.3655	0.6798	0.1057	1.3774	175.00
10	N-C ₆	1.3729	0.0680	0.0400	0.5633	65.294
11	N-C ₇	0.7125	0.0115	0.0246	0.3278	39.203
TOTALS :		100.000	1841.7	1.5154	26.188	2277.3

Compressibility factor, Z = 0.9841

CROMATOGRAFÍA DEL GAS A 50 Lpc

CHART SPEED 1.0 CM/MIN
 ATTEN: 128 ZERO: 10% 1 MIN/TICK



NATURAL GAS ANALYSIS AND PROPERTIES

REPORT

NO.	NAME	MOL%	VF	SG	G/M	BTU
1	N2	0.0600	6.0782	0.0000	0.0000	0.0000
2	CH4	7.1706	358.53	0.0097	1.2125	72.423
3	CO2	1.0665	27.997	0.0203	0.3173	0.0000
4	C2H6	10.5955	84.763	0.1100	2.8272	187.49
5	C3H8	39.1496	73.851	0.5960	19.762	963.04
6	ISO-C4	7.8373	5.6880	0.1572	2.3579	234.86
7	N-C4	21.4200	11.875	0.4298	6.7377	698.78
8	ISO-C5	4.7093	0.9628	0.1173	1.7191	188.41
9	N-C5	4.9223	0.7666	0.1226	1.7786	197.33
10	N-C6	1.4912	0.0739	0.0443	0.6118	70.921
11	N-C7	0.7749	0.0125	0.0260	0.3375	42.706
TOTALS :		100.000	569.08	1.6730	29.089	2698.0

Compressibility Factor, $Z = 0.9784$

CROMATOGRAFÍA DEL GAS A 0 Lpc

Calculos en la Liberacion Instantanea

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
P	LB	dLB	(1-PChg)	Uhg ext	Enc C	Exp Hg
	DATO					
5000.00000	147.27000	0.000E+00	0.99849	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4000.00000	146.44000	0.83000	0.99879	0.83632	0.04590	0.17175
3000.00000	145.56900	1.70100	0.99909	1.71242	0.09180	0.34350
2000.00000	144.63500	2.63500	0.99939	2.65350	0.13770	0.51526
1000.00000	143.62500	3.64500	0.99970	3.67170	0.18360	0.68701
500.00000	143.07500	4.19500	0.99985	4.22637	0.20655	0.77289
400.00000	142.93000	4.34000	0.99988	4.37259	0.21114	0.79006
340.00000	142.68000	4.59000	0.99990	4.62455	0.21389	0.80037
320.00000	142.28500	4.98500	0.99990	5.02254	0.21435	0.80208
310.00000	141.10000	6.17000	0.99991	6.21650	0.21527	0.80552
240.00000	128.13000	19.14000	0.99993	19.28466	0.21848	0.81754
220.00000	118.18500	29.08500	0.99993	29.30500	0.21940	0.82098

Presione ENTER para Continuar
 Presione ESC para Regresar al Menu

Calculos en la Liberacion Instantanea

(8) Exp M	(9) Um	(10) Uc	(11) Uhg	(12) Urel	(13) Co	(14) OBSERU.
0.000E+00	89.44296	657.03160	567.58864	0.95713	0.000E+00	
0.61767	90.06063	656.85985	566.92507	0.96374	6.882E-06	
1.27712	90.72008	656.68810	566.21972	0.97080	7.089E-06	
2.00054	91.44350	656.51634	565.45040	0.97854	7.373E-06	
2.80109	92.24405	656.34459	564.60395	0.98711	7.709E-06	
3.24694	92.68989	656.25871	564.13516	0.99188	7.923E-06	
3.37139	92.81435	656.24154	564.00611	0.99321	8.043E-06	
3.61029	93.05325	656.23123	563.76446	0.99576	8.490E-06	
4.00610	93.44906	656.22952	563.36819	1.00000	9.381E-06	
5.19571	94.63867	656.22608	562.17766	1.01273	1.204E-05	
18.24863	107.69159	656.21406	549.12153	1.15241	3.889E-05	
28.26462	117.70758	656.21062	539.10462	1.25959	5.709E-05	

Presione ENTER para Continuar
 Presione ESC para Regresar al Menu

Calculos en la Liberacion Diferencial

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
P	Liesb	Lfsyb	dLfsy	(1-pChg)	Uhg iny	Uhg iny.	dP	Enc C	Uhg iny C	Exp Hy
DATO	DATO	DATO								
330.0000	42.19400	142.1940	0.000E+0	0.99990	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	563.36819	0.000E+00
200.0000	94.22600	149.0740	6.88000	0.99994	6.93208	6.93208	130.0000	0.00597	570.30027	0.022943
100.0000	12.61800	162.3140	13.24000	0.99997	13.34063	20.27272	230.0000	0.01056	583.64090	0.04062
0.000E+0	65.17400	163.2980	0.98400	1.00000	0.99151	21.26422	330.0000	0.01515	584.63241	0.05838

Presione ENTER para Continuar
 Presione ESC para Regresar al Menu

Calculos en la Liberacion Diferencial

(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
U<O+sd> cy	dLesb	Us ext CY	Us PROD CL	Us PROD CN	Us acum CN	Cs ideal CY	GES prod	Pg prod	Mg prod
93.44906	100.0000	100.75305	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
86.48857	54.84800	55.26321	606.00000	577.29442	577.29442	55.86739	1.21010	0.00148	0.85444
73.12517	149.6960	150.83379	930.00000	885.94688	1463.24130	171.47417	1.47730	0.00181	1.60080
72.11131	98.12400	98.87280	1020.00000	971.68367	2434.92497	----	1.67300	0.00205	1.98830

Presione ENTER para Continuar
 Presione ESC para Regresar al Menu

Calculos en la Liberacion Diferencial

(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)
Mg prod ac	Uy dis CN	M gas dis	M(O+gas dis)	Rs	Rsi-Rs	Bo	Bg	(Rs i-Rs)*Bg	Bt	Po CY
0.000E+00	2434.9249	4.44355	56.75865	226.8967	0.000E+0	1.55084	---	---	---	0.60738
0.85444	1857.6305	3.58911	55.90421	173.1019	53.79476	1.48533	0.09573	5.14966	6.58499	0.64638
2.45524	971.68367	1.98830	54.30340	90.54564	136.3510	1.21356	0.17025	23.21398	24.42753	0.74261
4.44355	0.000E+00	0.000E+00	52.31510	0.000E+0	226.8967	1.19673	0.10175	23.08767	24.28440	0.72548

Presione ENTER para Continuar
 Presione ESC para Regresar al Menu

Calculos en la Liberacion Diferencial

(33)	(34)	DBSERU.
Prod. acum	Z	
0.000E+00	---	
0.23709	0.98919	
0.50094	0.87963	
1.00000	---	

Presione ENTER para Continuar
 Presione ESC para Regresar al Menu

Calculos Previos para los resultados
de una prueba PVT

UmaPtt	79.1010
UcaPtt	649.7526
UngaPtt	570.6516
Uhgext	11.1778
ExpHr	8.1149
ExpC	7.2790
ExpM	10.3420
UmaPtfcc	89.4430
UcaPtfcc	657.0316
UngaPtfcc	567.5886
Punto de burbuja	330.0000

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Laboratorio de Yacimientos, Petrofísica y Fluidos

HOJA DE RECALIBRACION

Variación del volumen de la celda con presión

Celda: 23028

Temperatura en la Celda: 82 °F

Factor de Calibración de la bomba: 0,992 cm³ / div

Operador: Javier Zhunio, Javier Rumipamba

Fecha: Noviembre 07 / 2000

1	2	3	4	5	6
Presión	Lb	P	Lb x Fcb	LbxFcbx[1+ChgTcx P]	Fccp
Dato	Dato	(1.i) - (1)	(2) x Fcb	(4)x[1+ChgTcx(3)]	[(5) - (4)] / (3)
5000	172.055	0	170.679	170.679	-
4000	171.616	1000	170.243	170.290	0.0000470
3000	171.089	2000	169.720	169.815	0.0000475
2000	170.615	3000	169.250	169.391	0.0000470
1000	170.125	4000	168.764	168.952	0.0000470
Promedio = 0,00004713 cm ³ / Lpc					

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Laboratorio de Yacimientos, Petrofísica y Fluidos

HOJA DE RECALIBRACION

Variación del volumen de la celda con presión

Celda: 23028

Temperatura en la Celda: 160 °F

Factor de Calibración de la bomba: 0,992 cm³ / div

Operador: Javier Rumipamba, Javier Zhunio

Fecha: Noviembre 07 / 2000

1	2	3	4	5	6
Presión	Lb	P	Lb x Fcb	LbxFcbx[1+ChgTcx P]	Fccp
Dato	Dato	(1.i) - (1)	(2) x Fcb	(4)x[1+ChgTcx(3)]	[(5) - (4)] / (3)
5000	168.170	0	166.825	166.825	-
4000	167.606	1000	166.265	166.311	0.0000460
3000	167.155	2000	165.818	165.910	0.0000460
2000	166.652	3000	165.319	165.457	0.0000460
1000	166.100	4000	164.771	164.955	0.0000460
Promedio = 0,000046 cm ³ / Lpc					

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
 Laboratorio de Yacimientos, Petrofísica y Fluidos

HOJA DE RECALIBRACION

Variación del volumen de la celda con presión

Celda: 23028
 Temperatura en la Celda: 200 °F
 Factor de Calibración de la bomba: 0,992 cm³ / div
 Operador: Javier Zhunio, Javier Rumipamba
 Fecha: Noviembre 07 / 2000

1	2	3	4	5	6
Presión	Lb	P	Lb x Fcb	LbxFcbx[1+ChgTcx P]	Fccp
Dato	Dato	(1.i) - (1)	(2) x Fcb	(4)x[1+ChgTcx(3)]	[(5) - (4)] / (3)
5000	165.880	0	164.553	164.553	-
4000	165.310	1000	163.988	164.033	0.0000450
3000	164.825	2000	163.506	163.597	0.0000455
2000	164.260	3000	162.946	163.082	0.0000453
1000	163.731	4000	162.421	162.602	0.0000453
Promedio = 0,00004528 cm ³ / Lpc					

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
 Laboratorio de Yacimientos, Petrofísica y Fluidos

HOJA DE RECALIBRACION

Variación del volumen de la celda con presión

Celda: 23028
 Temperatura en la Celda: 227
 °F

Factor de Calibración de la bomba: 0,992 cm³ / div
 Operador: Javier Rumipamba, Javier Zhunio
 Fecha: Noviembre 07 / 2000

1	2	3	4	5	6
Presión	Lb	P	Lb x Fcb	LbxFcbx[1+ChgTcx P]	Fccp
Dato	Dato	(1.i) - (1)	(2) x Fcb	(4)x[1+ChgTcx(3)]	[(5) - (4)] / (3)
5000	164.590	0	163.273	163.273	-
4000	164.104	1000	162.791	162.837	0.0000460
3000	163.600	2000	162.291	162.382	0.0000455
2000	163.045	3000	161.741	161.876	0.0000450
1000	162.563	4000	161.262	161.442	0.0000450
Promedio = 0,00004538 cm ³ / Lpc					

II. VARIACION DEL VOLUMEN DE LA CELDA CON LA TEMPERATURA.

En este caso suponemos que la temperatura del mercurio en la bomba es la temperatura ambiente y la celda PVT esta sometida a determinada temperatura, generalmente una temperatura alrededor de la del yacimiento.

Los efectos de dilatación son creados por los incrementos de temperatura, estos efectos se deben cuantificar estableciendo la temperatura del baño a diferentes temperaturas que la ambiente. Los siguientes pasos indican el procedimiento:

Una vez elegida la gama de temperaturas, procedemos así:

1. Abrimos todas las válvulas del sistema, pero a excepción de la válvula superior de la celda, esperamos a que se estabilice la temperatura en la celda a la que vamos a ejercer las relaciones $P. V. T.$
2. Cuando hemos alcanzado la temperatura elegida, aumentamos la presión como se lo hizo en la sección anterior.
3. Tomamos la lectura en la bomba para cada paso.

Llenamos la hoja de calibración con las lecturas efectuadas. Estas medidas nos permiten calcular el factor de calibración de la celda por temperatura (F_{cct}) que relaciona el cambio de volumen de la celda con el cambio de temperatura, que será

único para cada modelo de celda. Se lo calcula sacando un promedio de todos los valores a diferentes temperaturas. A continuación presentamos la hoja de recalibración:

EXPANSION DEBIDO A LA TEMPERATURA

1	2	3
Presión (Lpc)	V (222 °F - 82 °F)	$\Delta V / \Delta T$
5000	170,679 - 163,273 = 7,406	0.0529
4000	170,243 - 162,791 = 7,452	0.0532
3000	169,720 - 162,291 = 7,429	0.0531
2000	169,250 - 161,741 = 7,509	0.0536
1000	168,764 - 161,262 = 7,502	0.0536

$$\text{Promedio} = 0,0533 \text{ cm}^3 / ^\circ\text{F}$$

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE OPERACION PARA UN ANALISIS P.V.T. EN LOS EQUIPOS P.V.T. DE LA FICT

Este manual describe en forma sistemática el procedimiento adecuado para el manejo operativo de los equipos P.V.T. de la FICT para la realización de un análisis P.V.T.

Primeramente recomendamos realizar una revisión al Capítulo V de este trabajo de tesis para tener una forma clara de la preparación de los equipos para el manejo operativo.

DETERMINACION DEL ESTADO DE LA MUESTRA

Antes de realizar el análisis PVT se efectúa un estudio al estado de la muestra tal como viene del campo y a las condiciones de los equipos del laboratorio.

Esta determinación del estado de la muestra es muy importante ya que nos indica parámetros más representativos del yacimiento: Al llegar la botella porta-muestra al laboratorio debemos comprobar visualmente las posibles fugas a través de las válvulas, que pudieron ocurrir en el transporte, alterando la composición original de la muestra, y además lo que debemos determinar es la presión de saturación, antes que todo la presión de la muestra en la botella, de la siguiente manera:

1. Tomamos la botella que contiene a la muestra a la cual le va a realizar el análisis PVT, la conectamos a una bomba de desplazamiento por medio de una cañería de alta presión, teniendo todas las válvulas cerradas.
2. Abrimos la válvula 3 y desplazamos mercurio hacemos girar el manubrio de la bomba en sentido de las manecillas del reloj hasta que sea evacuado el aire de la línea, es decir, hasta que salga mercurio por el final de la línea, la cual luego la ajustamos.

3. Aumentamos la presión en la línea a una mayor que la presión de saturación aproximadamente unos 5000 lpc., abrimos la válvula 1 y nos damos cuenta como cae la presión en el manómetro de la bomba lo que nos indica la presión de la botella, aproximadamente. Que tiene que estar muy por encima de la presión de saturación de la muestra en el yacimiento

TRASPASO DE LA MUESTRA A LA CELDA

Antes de la realización del traspaso se deben realizar ciertas pruebas descritas en el Capitulo V de este trabajo de tesis.

Luego que estas pruebas han resultado satisfactorias procedemos a realizar el traspaso de la muestra de la botella a la celda de la siguiente manera:

1. Luego de haber comprobado que la presión en la botella esta por encima de la presión de saturación de la muestra, subimos la presión en el sistema bomba-botella hasta 5000 lpc. hasta la válvula 5 la cual se encuentra cerrada al igual que la 1, 2, 3.
2. Abrimos lentamente la válvula 5, mantenemos la presión a 5000 lpc., purgamos el aire de la conexión para la cual abrimos lentamente el conector de la cañería a la válvula 3 hasta que salga aire y fluya una pequeña cantidad de muestra lo que nos indicara que la cañería esta totalmente purgada de aire.
3. Manteniendo la presión a 5000 lpc. Cerramos la válvula 6 y abrimos la 7 para proceder a cargar con mercurio a la bomba, cerramos la válvula 7 y abrimos la

RESULTADOS EN LA LIBERACION INSTANTANEA Y DIFERENCIAL

Liberaacion Instantanea a 227.00 F

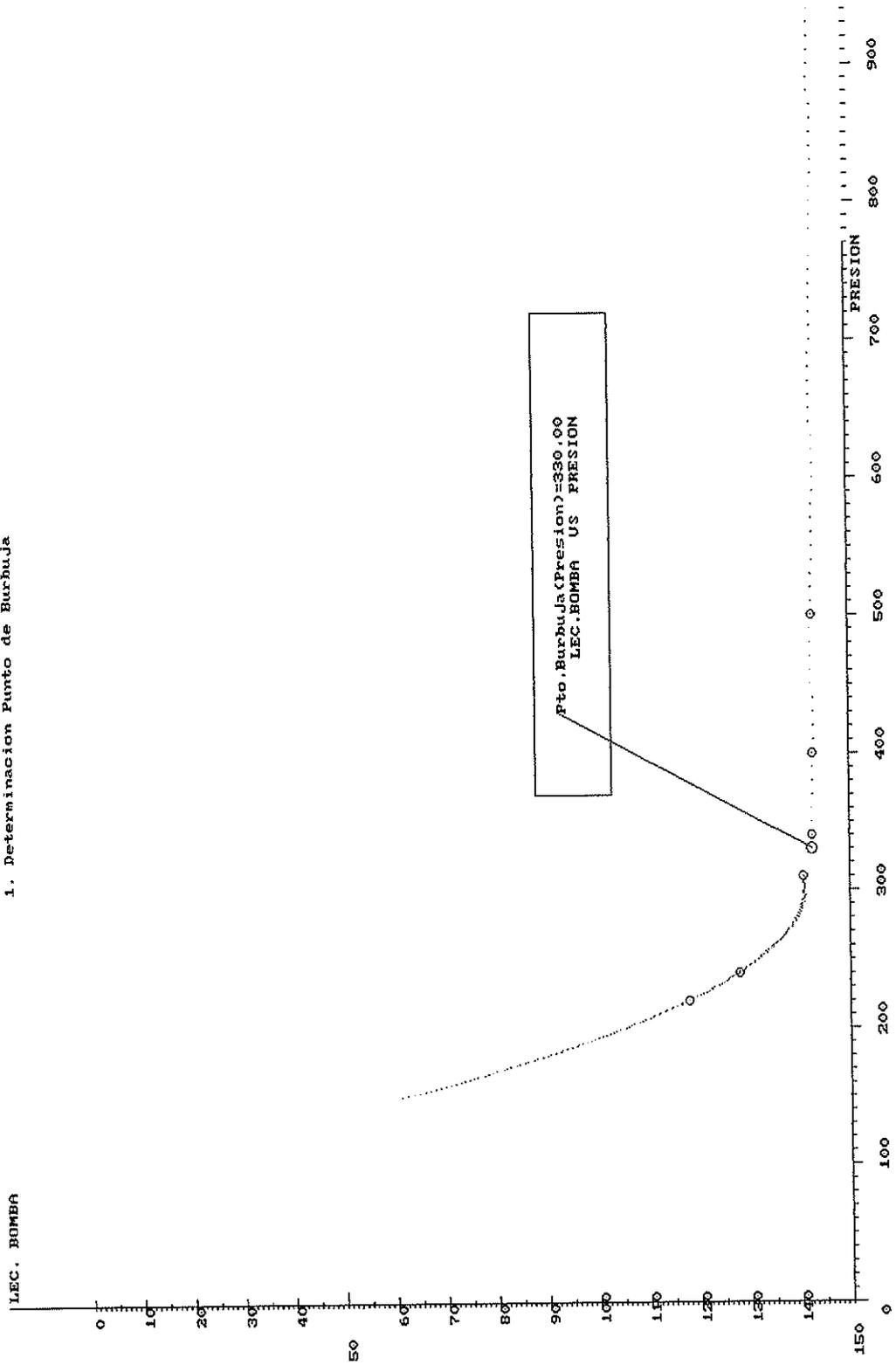
PRESION (Lpc)	UOLUMEN REL. (U/USAT)	COMPRESIBILIDAD PET. (1/LPC*1E-06)
5.0000E+03	9.5713E-01	0.0000E+00
4.0000E+03	9.6374E-01	6.8820E-06
3.0000E+03	9.7080E-01	7.0887E-06
2.0000E+03	9.7854E-01	7.3731E-06
1.0000E+03	9.8711E-01	7.7086E-06
5.0000E+02	9.9188E-01	7.9232E-06
4.0000E+02	9.9321E-01	8.0426E-06
3.4000E+02	9.9576E-01	8.4905E-06
3.3000E+02	1.0000E+00	9.3808E-06
3.1000E+02	1.0127E+00	1.2036E-05
2.4000E+02	1.1524E+00	3.8895E-05
2.2000E+02	1.2596E+00	5.7090E-05

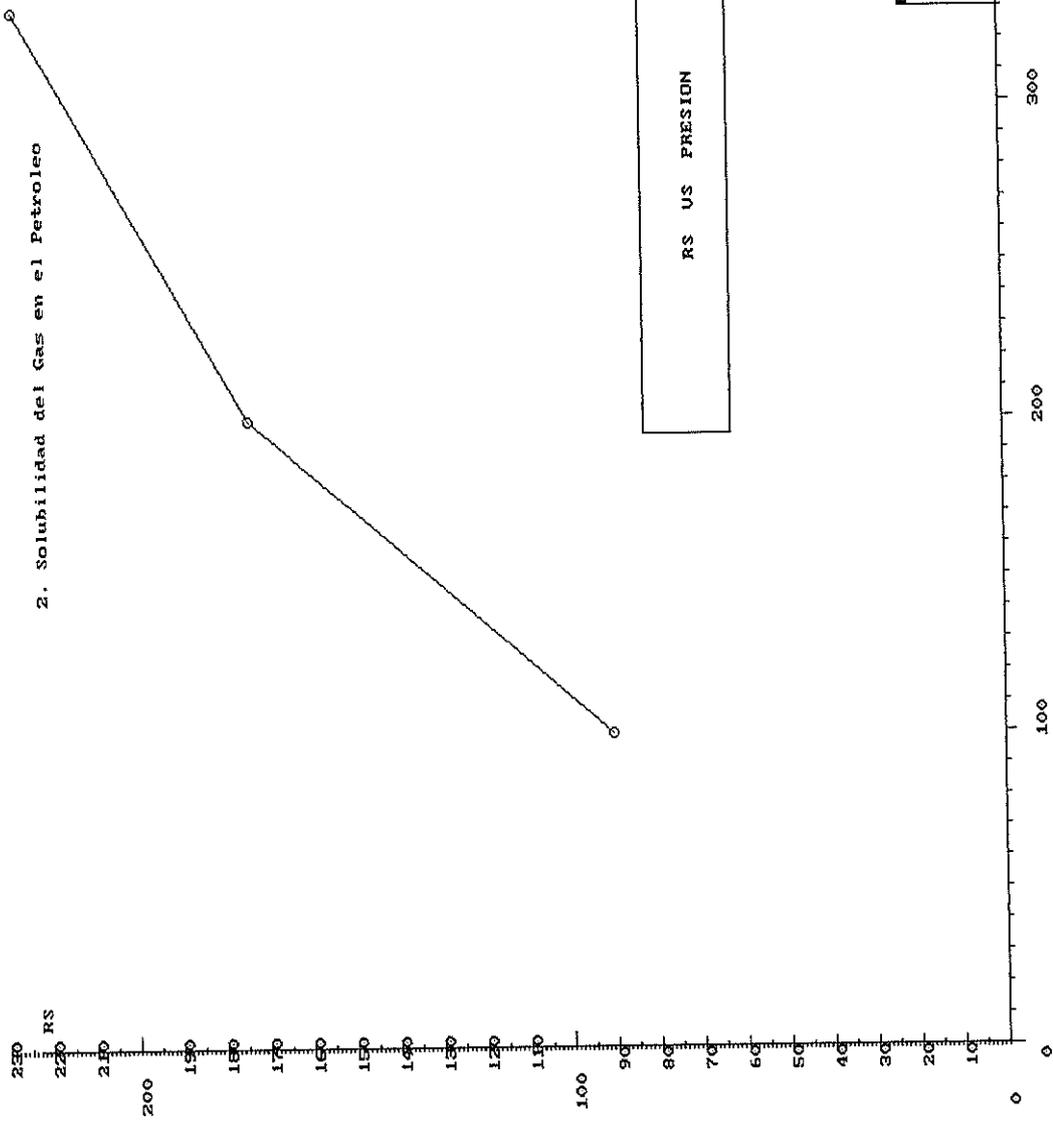
Liberaacion Diferencial a 227.00 F

PRESION (Lpc)	REL. GAS DIS.-PET. (PCN/Pb)	FACT. UDL. DEL PET. (Bb/Bb)	DENSIDAD DEL PET. (Grs/cm3)
3.3000E+02	2.2690E+02	1.5508E+00	6.0738E-01
2.0000E+02	1.7310E+02	1.4353E+00	6.4638E-01
1.0000E+02	9.0546E+01	1.2136E+00	7.4261E-01
0.0000E+00	0.0000E+00	1.1967E+00	7.2548E-01

Presione una tecla para Continuar

1. Determinacion Punto de Burbuja



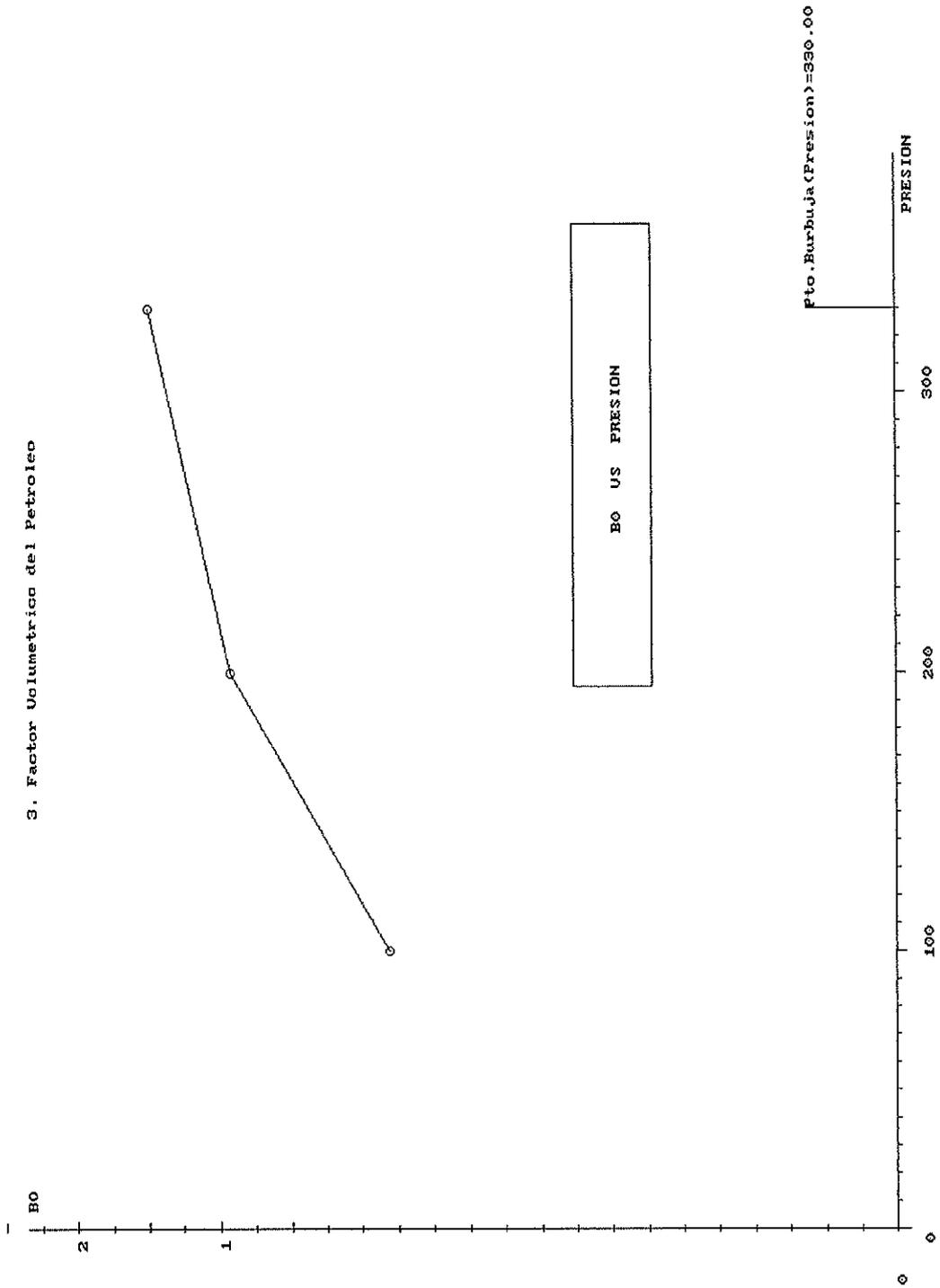


2. Solubilidad del Gas en el Petroleo

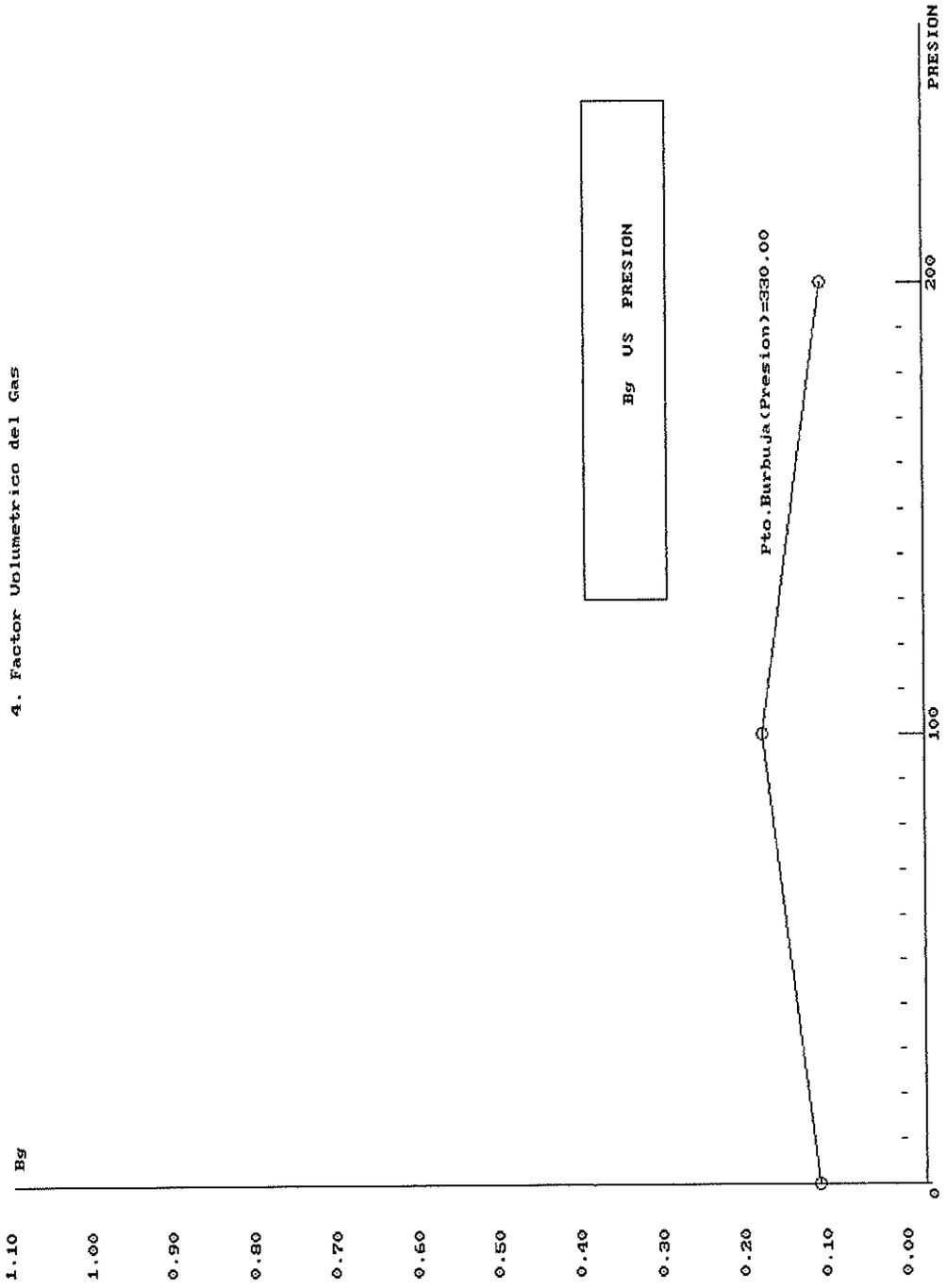
Pto. Burbuja (Presion)=330.00

RS US PRESION

3. Factor Volumetrico del Petroleo



4. Factor Volumetrico del Gas



1.70

DENSIDAD DEL PETROLEO

5. Densidad del Petroleo

1.60

1.50

1.40

1.30

1.20

1.10

1.00

0.90

0.80

0.70

0.60

0.50

0.40

0.30

0.20

0.10

0.00

0.00

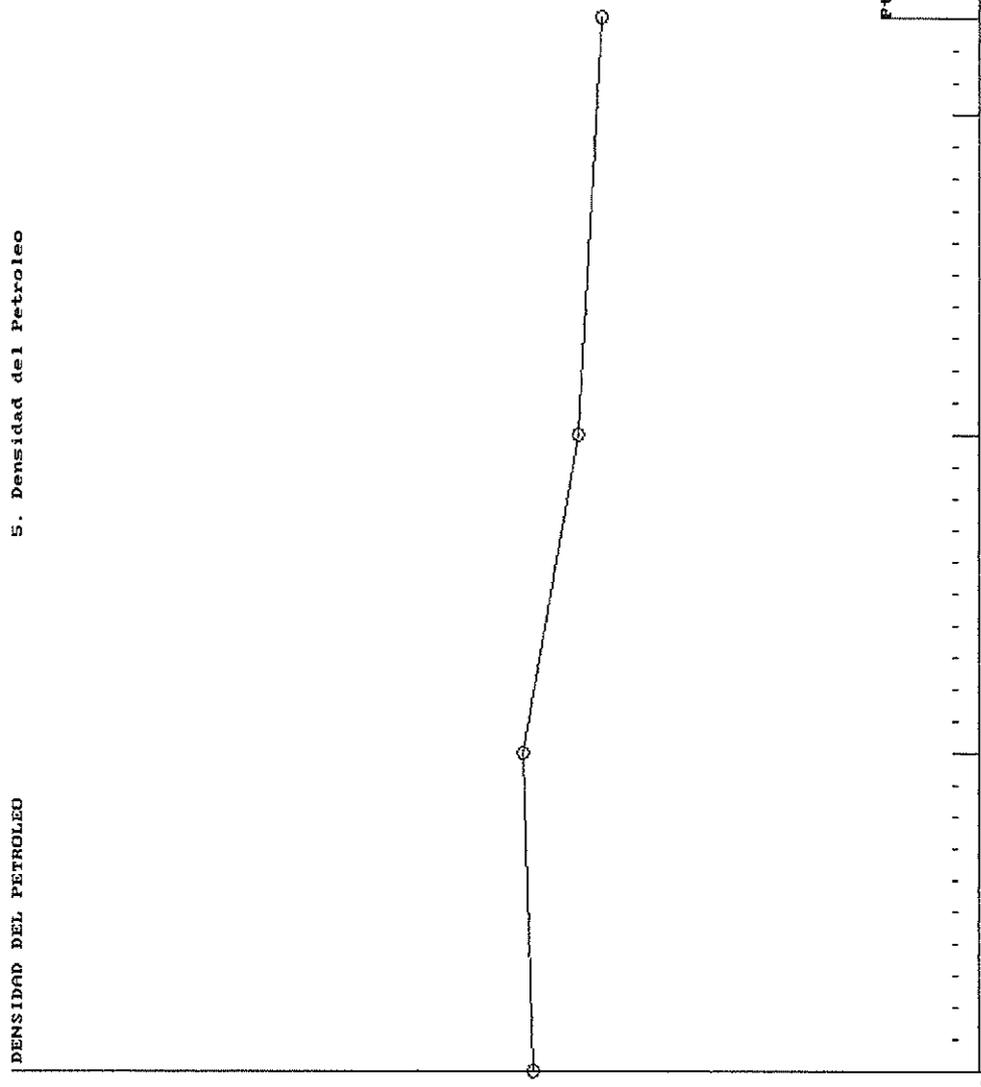
100

200

300

PRESION

Fto. Burhuja (Presion)=330.000000



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Realizada la calibración de la bomba de desplazamiento de mercurio y de la celda P.V.T. se encontraron las siguientes constante
- Factor de calibración de la bomba (Fcb) = 0992 cc / div
- Factor de calibración de la celda por presión (Fccp) = 0.0000459 cc / lpc
- Factor de calibración de celda por temperatura (Fcct) = 0.0502 cc / ° F
- La presión de saturación para el petróleo crudo analizado a la temperatura de yacimiento de 227 ° F , fue 330 lpc, mientras que la presión obtenida por Petroproducción fue de 335 lpc, lo cual resulta ser bastante aceptable.
- Se ha desarrollado un manual de usuario que involucra
 - calibración
 - Operación
 - Mantenimiento
- Tanto para la celda P.V.T. como para la bomba de desplazamiento
- Se optimizo el proceso de calculo a través de un programa de computo escrito en lenguaje
- Se deberá calibrar nuevamente el sistema Bomba - Celda, en caso de que se realice cualquier operación de mantenimienmto o cambio de algún accesorio tanto en la bomba como en la celda.

- Con la finalidad de establecer la consistencia en 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 el petróleo cercano al punto crítico y petróleo negro.
- En caso de trabajos eventuales es recomendable dejar con al menos 100 lpc la celda para evitar efectos de compresión o expansión del 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 lpc.
- Una recomendación muy importante es la del uso adecuado de una mascarilla para protección de gases y el uso de guantes, debido a que estos equipos utilizan mercurio en las operaciones.
- Es recomienda la utilización de un manómetro que tenga lecturas de 1000 lpc a 0 lpc para las lecturas menores a los 1000 lpc, lo que dará más precisos a los cálculos
- Los manómetros tienen que ser revisados en cada prueba, siempre tienen que ser calibrados
- Durante el calentamiento de la muestra hay que estar muy pendientes, ya que al expandirse la muestra, la presión aumenta rápidamente, pudiendo ocasionar un daño a los equipos

- Es recomendable la reviso o cambio de las líneas después de algunas pruebas realizadas, ya que se trabaja con valores de presión bastante altos, aproximadamente 5000 lpc.
- Para cada prueba se recomienda hacer una limpieza al mercurio ya que siempre después de una prueba queda con pequeñas trazas de muestras anteriores.

ANEXOS

MANUAL DE RECALIBRACION DE LOS EQUIPOS P.V.T. DE LA FICT

Este manual esta orientado específicamente al procedimiento adecuado para la recalibración de los equipos P.V.T. de la FICT.

Antes de llevarlo a cabo hay que revisar el Capítulos III de este trabajo de tesis para tener una forma clara de la preparación de los equipos para la recalibración.

RECALIBRACION DE LAS BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO

El procedimiento de preparación de las bombas lo tenemos especificado en el capitulo III de este trabajo de tesis.

Primeramente determinamos si el manómetro se encuentra calibrado o de lo contrario tenemos que hacerlo, hay una suposición que tenemos en cuenta y es que la temperatura ambiente se mantendrá constante durante el procedimiento de recalibración.

Para realizar la recalibración, se procedemos de la siguiente manera:

1. Realizamos vacío después de haberla limpiado con un solvente apropiado, para eliminar residuos.
2. Llenamos totalmente la bomba con mercurio usando el vaso alimentador, ver Fig. 3.1. evite la entrada de aire cerrando la válvula de conexión de vacío.
3. Una vez llenada la bomba cerramos la válvula vaso-cámara. Leemos la temperatura en la bomba, y conectamos en el extremo de salida un ducto en forma de cuello de ganso, para recuperar mercurio.
4. La escala y el vernier tienen que estar encerados. Subimos la presión hasta la presión de calibración (5000 PC) y tomamos la lectura inicial de la bomba (Liba).
5. Bajamos la presión hasta 0 Lpc, abrimos media vuelta la válvula de salida y desplazamos un volumen aproximado de mercurio (5 – 10 cm³) por el cuello de ganso a un recipiente previamente pesado (Mrv).
6. Cerramos la válvula de salida, subimos la presión a 5000 Lpc y anotamos la lectura final de la bomba (Lfb).
7. Pesamos en una balanza el recipiente con mercurio y anotamos el resultado en la hoja de calibración (Mrhg).

8. Repetimos los pasos (5) al (7) hasta cubrir la capacidad de la bomba.

Con el objetivo de eliminar errores por:

Expansión del cilindro de la bomba, compresibilidad de los empaques y deformación del tubo de bourdeon debido a que no existe otra forma de poder cuantificarlos.

Llenamos la hoja de calibración para determinar la constante de la bomba o el factor de calibración F_{cb} así como esta indicado en las tablas de resultados, este F_{cb} es obtenido como un promedio de todos los valores de la columna de la manera que sigue:

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Laboratorio de Yacimientos, Petrofísica y Fluidos

HOJA DE RECALIBRACION

Determinación del Factor de Calibración

Bomba: 22832

Presión de Calibración: 5000 LPC

Corrida No: 1

Operador: Javier Zhunio, Javier Rumipamba

Fecha: Octubre 17 / 2000

1	2	3	4	5	6	7	8
Lib	Lfb	Mrv	M _{Hg}	DEL _b	Tb	M _{Hg}	V _{Hg}
Div	Div	Grs	Grs	(2) - (1)	°C	(4) - (3)	cm ³
1.445	12.215	26.80	159.10	10.770	28	132.30	9.78
12.215	21.870	26.50	157.60	9.655	28	131.10	9.69
21.860	31.515	26.85	157.47	9.655	28	130.62	9.66
31.515	41.050	26.42	155.79	9.535	28	129.34	9.56
41.050	51.320	26.31	165.50	10.270	28	139.19	10.29
51.320	61.220	26.45	161.80	9.900	28	135.35	10.01
61.220	71.220	26.40	161.00	10.000	28	134.60	9.95
71.220	81.095	26.32	160.08	9.875	28	133.76	9.89
81.095	91.295	26.81	164.80	10.200	28	137.99	10.20
91.295	101.721	26.10	167.41	10.426	28	141.31	10.45
101.721	112.004	27.00	167.30	10.283	28	140.30	10.37
112.004	122.541	26.70	169.21	10.537	28	142.51	10.54
122.541	132.402	26.38	168.50	9.861	28	142.12	10.51
132.402	142.830	26.70	167.57	10.428	28	140.87	10.41
142.830	153.155	26.20	167.00	10.325	28	140.80	10.41
153.155	163.890	26.74	171.30	10.735	28	144.56	10.69
163.890	174.379	26.80	168.90	10.489	28	142.10	10.51
174.379	185.261	26.55	174.10	10.882	28	147.55	10.91
185.261	196.552	26.73	179.70	11.291	28	152.97	11.31
196.552	207.170	26.80	170.02	10.618	28	143.22	10.59
207.170	217.560	26.20	167.10	10.390	28	140.90	10.42
217.560	227.803	26.47	165.45	10.243	28	138.98	10.27
227.803	238.268	26.40	168.30	10.465	28	141.90	10.49
238.268	248.600	26.73	166.10	10.332	28	139.37	10.30

9	10	o
V_{Hg}^{**} cm ³	Fcb (9) / (5)	Observaciones
9.766	0.907	
9.676	1.002	T: Se mantuvo
9.646	1.000	constante en
9.547	1.001	todo el proceso
10.276	1.000	de calibración
9.996	1.009	
9.036	0.904	
9.876	1.000	
10.186	0.999	
10.435	1.001	
10.355	1.007	
10.525	0.999	
10.495	1.064	
10.395	0.997	
10.395	1.007	
10.675	0.994	
10.495	1.001	
10.895	1.001	
10.296	0.912	
10.575	0.996	
10.405	1.001	
10.256	1.001	
10.475	1.001	
10.286	0.996	

$$8 - V_{Hg} @ Pat, Tb = (7) / den_{Hg} @ Tb$$

$$** V_{Hg} @ Pcb, Tb = (8) [1 - Pcb \times C_{Hg} @ Tb$$

$$Fcb - V_{Hg} @ Pcb, Tb / Del_b @ Pcb, Tb$$

RECALIBRACION DE LA CELDA P.V.T.

El procedimiento de preparación de la Celda lo tenemos especificado en el capítulo III de este trabajo de tesis.

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE LA CELDA

Para determinar la capacidad de la celda, se realiza el siguiente procedimiento:

1. Abrimos la válvula superior de la celda y conectamos la bomba de vacío, nos aseguramos que la válvula inferior permanezca cerrada.
2. Hacemos vacío y controlamos posibles fugas observando el manómetro medidor de vacío. Cerramos la válvula superior y conectamos la bomba de desplazamiento a la celda.
3. Abrimos la válvula bomba – celda y llenamos de mercurio la línea de conexión hasta la válvula inferior de la celda, que se encuentra cerrada, elevamos la presión hasta la presión de calibración.
4. Cerramos lentamente la válvula bomba – celda para dejar la presión en la línea igual a la presión de calibración (5000 lpc)

5. Tomamos la lectura inicial; de la bomba (Lib)

6. Abrimos (1 ½ vueltas) la válvula bomba – celda y luego abrimos lentamente la válvula inferior de la celda observando que la presión no disminuya de la presión de calibración (en ± 5000 Lpcm), esto lo logramos desplazando mercurio por medio de la bomba de desplazamiento, hasta terminar la capacidad de la misma.

7. Cerramos la válvula bomba – celda, tomamos la lectura de la bomba (Lfb) como lo indica la hoja de calibración. Procedemos a realizar un cambio de bomba, con el objeto de inyectar mas volumen de mercurio a la celda. Disminuimos la presión a cero, y procedemos a inyectar mas mercurio a la cámara de la bomba, para esto abrimos la válvula del vaso alimentador.

8. Repetimos las operaciones (5) a la (8) varias veces hasta llenar la capacidad de la celda, detectamos 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.

Determinamos la capacidad de la celda o como lo denominamos, el volumen de calibración de la celda (Vcc), como esta indicado en la hoja de calibración, es decir sumando los valores de volúmenes de mercurio que entraron en la celda en cada uno de los cambios de bomba que se realizo y a este valor lo multiplicamos por el Factor de calibración de la bomba de desplazamiento (Fcb). A continuación la hoja de determinación de la capacidad de la celda:

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
Laboratorio de Yacimientos, Petrofísica y Fluidos

HOJA DE RECALIBRACION

Determinación de la Capacidad de la Celda

Celda No. 23028
 Temperatura en la bomba: 82,4 oF
 Factor de Calibración de la bomba: 0,992 cm³ / div.
 Operador: Javier Rumipamba, Javier Zhunio
 Fecha: Octubre 23 / 2000

1	2	3	4	5
Pcb	Lib	Lfb	Lb	LbxFcb
Lpcm	Div	Div	Div	cm³
5000	13.13	252.22	239.09	649.853
5000	1.498	252.17	250.672	
5000	1.36	166.692	165.332	
			655.094	

I. VARIACION DEL VOLUMEN DE LA CELDA CON LA PRESION.

Para determinar el cambio del volumen de la celda con la presión realizamos el siguiente procedimiento:

1. Llenamos la celda con mercurio a la presión de calibración y temperatura ambiente.
2. Cerramos la válvula bomba – celda y tomamos la lectura en la bomba.
3. Abrimos 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. Repetimos el paso 2. Luego incrementamos la presión tomando lecturas de 1000 Lpcm cada una, hasta 5000 Lpcm, véase hoja de calibración.
5. Repetimos los pasos (3) y (4), aumentando la temperatura en la celda, para obtener las relaciones P. V. T.

Llenamos la hoja de calibración con las lecturas efectuadas, se puede determinar el factor de calibración de la celda por presión (F_{ccp}), esto se hace sacando un promedio de los valores obtenidos a diferentes valores de temperatura, este factor relaciona el cambio de volumen de la celda con el cambio de presión.. A continuación mostramos las hojas de calibración:

6 manteniendo la presión a 5000 lpc y tomamos la lectura inicial de la bomba para el traspaso.

4. Con la bomba que se encuentra conectada a la celda teniendo en cuenta que la celda este totalmente llena de mercurio, abrimos la válvula 2 y aumentamos la presión a 5000 lpc manteniendo solamente la válvula 3 cerrada ; entonces los sistemas: bomba – celda y el sistema botella – bomba se encuentran a una presión aproximada de 5000 lpc, ya estamos listos para el traspaso de la muestra a la celda.
 5. Ahora abrimos la válvula 3 y homogeneizamos la presión del sistema a 5000 lpc y procedemos al traspaso, para esto realizamos un aumento de presión en la bomba que se encuentra conectada a la botella mediante giros en el manubrio en sentido a las manecillas del reloj y a la vez disminuimos la presión en la bomba que se encuentra conectada ala celda mediante giros en el manubrio en sentido contrario a las manecillas del reloj, pero eso si teniendo en cuenta que en los manómetros de las bombas se mantenga la presión de 5000 lpc. En los dos sistemas hasta que la cantidad de muestra que entra en la celda sea de aproximadamente 80 cc. Y tomamos la lectura en la bomba como lectura al final del traspaso (Lbft).
 6. Luego de esto cerramos la válvula 3 al igual que la válvula 5 y despresurizamos la cañería abriendo lentamente la conexión a la válvula 3 hasta que quede despresurizada. (se debe de tener en cuenta el manejo de la línea ya que se encuentra llena de muestra y a alta presión).
-

III. CALENTAMIENTO DE LA MUESTRA EN LA CELDA A LA TEMPERATURA DE YACIMIENTO.

Una vez que tenemos la muestra en la celda procedemos a calentarla hasta la temperatura establecida, es decir, la temperatura de yacimiento. Desde la temperatura ambiente T_a hasta la de 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 como consecuencia de la dilatación del mercurio dentro de la celda junto a la expansión de la muestra dentro de la misma, por lo que siempre se debe controlar el aumento de presión.

1. A la bomba que se encuentra conectada por la parte inferior de la celda le cerramos la válvula 1 y abrimos la válvula 8 desplazando el mercurio de la bomba a la cámara de mercurio de esta, hasta llegar a una lectura que nos permita tomarla como lectura inicial de calentamiento de la celda.
2. Cerramos la válvula 8 y aumentamos la presión a 5000 lpc, tomamos la lectura inicial de calentamiento de la celda (L_{icc}) y abrimos la válvula 8 procediendo a calentar a la celda hasta una temperatura de yacimiento de T_y manteniéndose siempre la presión aproximada de 5000 lpc. También hay que tomar la temperatura inicial de calentamiento de la bomba (T_{icb}) y la temperatura inicial de calentamiento en la celda (T_{icc}).
3. Luego que hemos alcanzado la temperatura esperada, tomamos la lectura final de calentamiento de la celda (L_{fcc}), la temperatura final de calentamiento en la bomba (T_{fcb}) y la temperatura final de calentamiento en la celda (T_{fcc}).

Lo que nos da la expansión térmica de la muestra dentro de la celda después de haberla calentado.

Debido a la extracción de mercurio, L_{icb} es mayor que L_{fcb} . El volumen de muestra que esta en la celda juega un papel muy importante en el calentamiento, debido a que si este es muy grande una parte de la muestra llegara hasta la bomba lo que ocasionara un error en las lecturas.

IV. LIBERACION INSTANTANEA.

Luego que la muestra se encuentra en la celda a la temperatura de yacimiento y a una presión de 5000 lpc manteniéndose constantes, estamos listos para realizar una liberación instantánea de la muestra. El equipo tiene que estar listo y dispuesto. La liberación instantánea se realiza de la siguiente manera:

1. Tomamos lectura y temperatura en la bomba a las condiciones de presión y temperatura establecidas para la muestra.
2. Para la siguiente lectura, se disminuimos la presión a 4500 lpc, agitamos la celda por un tiempo de 4 a 5 minutos después de este tiempo detenemos el agitador y cerramos la válvula 2 elevamos la presión a 5000 lpc y tomamos la lectura en la bomba, la cual la registramos como la lectura en la bomba a 4500 lpc, bajamos la presión a 4500 lpc y abrimos la válvula 2 en la misma

cantidad de giros que se la cerro y continuamos agitando para que después de 4 a 5 minutos realizar la siguiente toma de lectura.

3. Bajamos 500 lpc y se repite el mismo procedimiento anterior hasta que llegemos a una presión de 1500 lpc. Debido a que nos estamos acercando al punto de burbuja estimado para este crudo..
4. El paso siguiente es trabajar solamente con el dial de la bomba, hacemos disminuciones de 20 divisiones lo que nos dará lecturas de presión más cercanas.
5. Bajamos 20 divisiones en el dial, y se realiza el procedimiento anterior pero en este caso se toma la lectura de la presión antes de cerrar la válvula 2 y elevar la presión a 5000 lpc. tomamos la lectura de la bomba, después bajamos la presión dejando al dial de la bomba en el mismo sitio que se encontraba antes de elevar la presión y se disminuyen 20 divisiones mas.
6. Si en algún punto de estos se nos repite una presión o nos da presiones bien aproximadas, es porque nos encontramos en el punto de burbuja, apartir de ahí comenzamos a bajar 100 divisiones y así sucesivamente podemos ir bajando una lectura de 10 cc en la bomba hasta llegar a una presión muy por debajo del punto de burbuja.
7. El punto de burbuja lo determinamos graficando las lecturas de la presión y las lecturas de la bomba en cada uno de los pasos y podremos ver que existe

un cambio brusco en la dirección de los puntos que se encuentran por encima del punto de burbuja y los que se encuentran por debajo de dicho punto, cogemos los puntos representativos y los unimos con una recta los que están por encima y con otra recta los que están por debajo.

Nos damos cuenta que hay un punto en donde se cruzan las dos lineal, entonces hemos determinado gráficamente el punto de burbuja el cual es una aproximación casi exacta del valor real.

Este procedimiento esta indicado mediante un programa de computación en el Capitulo VI de este trabajo de tesis.

V.LIBERACION DIFERENCIAL

Una vez realizada la liberación instantánea debemos disponer el equipo para proceder a realizar la liberación diferencial de la siguiente forma:

1. Estando la muestra en la celda a la temperatura de yacimiento (T_y) y la presión de traspaso 5000 lpc. Disminuimos la presión en la celda a intervalos de 1000 lpc pero no registramos dichas lecturas ya que solamente nos interesan las que están por debajo del punto de burbuja ya determinado.
2. Cuando llegamos a la presión de burbuja (P_b), cerramos la válvula 1 y aumentamos la presión a 5000 lpc y tomamos la lectura en la bomba, la cual será la lectura al punto de burbuja, luego bajamos la presión a P_b y abrimos la

válvula 1 después disminuimos la presión a intervalos cercanos al P_b y esperamos un tiempo de 4 a 5 minutos, mientras se esta agitando la muestra.

3. Ya transcurrido el tiempo, detenemos el agitador, cerramos la válvula 1, aumentamos la presión a 5000 lpc determinando la lectura en la bomba antes de la extracción del gas ya desprendido de la muestra (L_{iegb}), bajamos a presión estimada anteriormente y abrimos la válvula 1, a la válvula superior de salida de la celda conectamos una línea la cual tiene un matraz como trampa que esta conectada a un cromatografo y a un medidor de gas del cual tomamos la lectura inicial antes de extraer el gas (L_{iegg}). Abrimos la válvula 3 lentamente y tenemos que mantener la presión ya estimada hasta que se sienta un aumento brusco en el manómetro o simplemente se note la salida de crudo por la línea que contiene el matraz, entonces cerramos la válvula 3 después la 1 y aumentamos la presión a 5000 lpc registrando la lectura de la bomba luego que se ha extraído el gas de la muestra (L_{fegb}). Disminuimos la presión y abrimos la válvula 1, disminuimos a otra presión menor, estimada de acuerdo al P_b .
4. Mientras se estabiliza la celda a la nueva presión, medimos la cantidad de gas en el gasómetro lo que nos da una lectura (L_{fegg}) a la vez también el análisis cromatografico nos da la composición y el equipo esta adecuado también para que determine la gravedad especifica del gas y también su compresibilidad Z .
5. Hacemos las lecturas de todos los parámetros determinados en el paso anterior pero ahora para la nueva presión estimada.

6. Cuando tengamos que realizar el ultimo paso a cero lpc tenemos que tener en cuenta de manejar con mucho cuidado para que no se eleve demasiado la presión en el manómetro por lo que este paso se vuelve un procedimiento lento y de cuidado, la lectura final la tomamos cuando se sube bruscamente la presión en el manómetro o cuando vemos salida de crudo por la línea que conduce a la trampa, cerramos la válvula 3 al igual que la 1 y hacemos el procedimiento para 0 lpc.
7. A esta presión el ultimo paso que nos queda es sacar el crudo residual dentro de la celda, haciendo girar el manubrio en sentido de las manecillas del reloj hasta que nos aumente bruscamente la presión o simplemente salga mercurio por la válvula 3 de la celda.

Al crudo residual lo colocamos en un recipiente previamente pesado y así determinamos la masa de petróleo residual (M_{or}) al cual le sacamos el volumen (V_{or}) a condiciones normales. Ya que estos valores utilizaremos en los cálculos de los diferentes parámetros de ingeniería de yacimientos.

Estos son los procedimientos, el de recalibración y el de manejo operacional de los equipos P.V.T. de la FICT. Los valores que obtengamos en la recalibración, se mantendrán mientras no se realice ningún cambio, reparación o mantenimiento de los equipos.

Lo siguiente es la realización de los cálculos propios de un ANALISIS P.V.T. mediante los datos obtenidos en estas pruebas. Todo este procedimiento esta completamente detallado en el Capitulo VI de este trabajo de tesis.

DENSIDAD, COMPRESIBILIDAD Y VOLUMEN RELATIVO DEL MERCURIO

El mercurio es un metal líquido a temperatura ambiente y esta propiedad hacen que tengan numerosas aplicaciones industriales por lo que es un elemento muy bien conocido por la ciencia. La Tabla I 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 utilicen.

En el sistema internacional.

$$\rho_{HgT} = 79.335 * 10^{-10} * (T - 15.5) + 3.903 * 10^{-6}$$

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

En el sistema inglés

$$\rho_{HgT} = [2.72 + 0.0031 * (T - 60)] * 10^{-7}$$

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

Donde :

ChgT : es la compresibilidad del mercurio a una temperatura T

ξ_T : es el volumen relativo de mercurio a una temperatura T

Estas ecuaciones tienen como temperatura base o normal de $60^\circ \text{F} = 15.5^\circ \text{C}$, según el sistema que sea empleado.

**VARIACION DEL VOLUMEN RELATIVO DEL MERCURIO
EN FUNCION DE LA TEMPERATURA**

TEMP. °C	GRADOS									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	1,000000	101	202	303	404	504	605	706	807	908
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	9
160	1,01011	211	313	414	515	617	718	820	921	1022
170	11124	1225	1326	1428	1529	1631	1732	1834	1935	2036
180	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	64	166

TEMPERATURA		DENSIDAD		TEMPERATURA		DENSIDAD	
o C		grs / cc		o C		grs / cc	
15		13.5585		190		13.14	
16		5561		200		1148	
17		5536		210		0.9130	
18		5512		220		0.6780	
19		5487		230		0.4430	
20		13.5462		240		13.0209	
21		5438		250		12.9975	
22		5413		260		9741	
23		5389		270		9507	
24		5364		280		9273	
25		13.534		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	

**DENSIDAD DEL MERCURIO EN FUNCION
DE LA TEMPERATURA**

TEMPERATURA °C	DENSIDAD grs / cc	TEMPERATURA °C	DENSIDAD grs / cc
-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

VARIACION DE LA COMPRESIBILIDAD DEL MERCURIO EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

TEMP. o C	GRADOS									
	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	2.800	3	6
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	2.902	0.5	0.8	11	14	18	21	24	27	30
130	2.933	36	39	42	45	49	52	55	58	61
140	2.964	67	70	73	76	80	83	86	89	92
150	2.995	98	3.001	0.4	0.7	11	14	17	20	23
160	3.026	29	32	35	38	42	45	48	51	54
170	3.057	60	63	66	69	73	76	79	82	85
180	3.088	91	94	97	3.100	0.4	0.7	10	13	16
190	3.119	22	25	28	31	35	38	41	44	47
200	3.15	53	56	59	62	66	69	72	75	78
210	3.181	84	87	80	93	97	3.200	0.3	6	9
220	3.212	15	18	21	24	28	31	34	34	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	0.8	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	3.401	0.4	0.7	10	14	17	20	23	26
290	3.429	32	35	38	41	45	48	51	54	57
300	3.46	63	66	69	72	76	79	82	85	88

BIBLIOGRAFIA.

1. Carlos Castillo A. "Análisis presión-volumen-temperatura (p.v.t): Manual de aplicación operacional y calculo de parámetros de ingeniería de yacimientos", Tesis de grado 1987
2. Craft and Hawkins. "Applied petroleum reservoir engineering, 1959,. pp 59-72, 97-113.
3. L.P. Dake. "Fundamentals of reservoir engineering, 1978, capitulo 2 y 3.
4. Ing. José Poma. " Apuntes de seminario análisis PVT". 1986
5. Ing. M. Sc. Jorge Barrientos "Análisis de fluidos de reservorios y superficie (P.V.T)", 1996.
6. Ruska Instrument Corporation, "Constant temperature oil bath" Operating manual, Houston-Texas, 1974.
7. Sargent Welch Scientific Company, Manual de bombas de vacío, Illinois, 1970.

8. Ruska Instrument Corporation, "Visual liquid phase PVT cell" Operating manual, Houston-Texas, 1974.
 9. Ruska Instrument Corporation, "General catalog", Ruska Instrument Corporation, Houston-Texas, 1982.
 10. H. Román, "Análisis del comportamiento de la viscosidad de crudos a condiciones de yacimiento y superficie", Tesis de grado, ESPOL, 1985.
-