

Liliana  
15/12/2017

BOBOL-CIB  
INVENTARIO FÍSICO

11 SEP 2018

PRO: Liliana O.

17 SEP 2019

6/3/02  
Shanny Linares

24/11/2015

1  
542,553  
E77



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**"MANUAL DE OPERACIONES DE LOS EQUIPOS DEL  
LABORATORIO DE YACIMIENTOS Y PETROFISICA"**

**PROYECTO DE GRADO**

**Previo a la obtención del Título de:**

**INGENIERO EN PETROLEO**

Presentado por:

**Leonardo Fernando / Espinel Nunez**

**Juan Carlos Grisales López**

**Guayaquil - Ecuador**

**1993**



## **AGRADECIMIENTO**

Dejo constancia de mi más profundo agradecimiento a todas las personas que de una u otra manera se hicieron presentes para que este proyecto de investigación se hiciera posible.

En forma especial mi agradecimiento al Sr. Ing. Ricardo Gallegos O. Director del Tópico, por haberme brindado su valiosa colaboración.

## AGRADECIMIENTO

A la ESPOL, a su personal docente, administrativo y trabajadores, (muy especialmente a quienes integran la FICT) que de diferentes maneras colaboraron para la culminación de esta etapa de mi vida.

Muy especialmente agradezco a los Ing. Ricardo Gallegos O. y Daniel Tapia F. por el apoyo brindado durante mi permanencia en la ESPOL.

## DEDICATORIA

A Dios pilar principal en la vida.

A mis padres que con el amor más profundo me han guiado en la vida muy especialmente a mí madre Sra. Georgina Nuñez de Espinel.

A mis hermanos y sobrinos.

## DEDICATORIA

A mis padres, ANA y JAIME, sin cuya orientación, dedicación y sacrificio difícilmente podría ser quien soy. Todo mi amor para ellos.

A mis hermanos, a mis familiares más queridos y a mis amigos.

Ing. Miguel Angel Chávez  
DECANO FACULTAD DE  
INGENIERIA EN CIENCIAS  
DE LA TIERRA

Ing. Daniel Tapia F.  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Ricardo Gallegos Orta  
DIRECTOR DEL TOPICO

## DECLARACION EXPRESA

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

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

Leonardo Espinel Nuñez.

## DECLARACION EXPRESA

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

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

Juan Carlos Grisales L.

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es poner a consideración de los futuros estudiantes de Ingeniería de Petróleos un manual de aplicación de los instrumentos del Laboratorio de Petrofísica existentes en la F.I.C.T. de la ESPOL.

Se considera para este estudio los aparatos que tienen mayor utilización práctica para la determinación de los parámetros petrofísicos más importantes como son Presión Capilar, Porosidad, Transmisibilidad y Conductancia.

Para la determinación de la porosidad se utiliza el Porosímetro Digital, del cual realizamos una descripción detallada de su funcionamiento. Uno de los aspectos que hay que resaltar es su alto grado de eficiencia ya que es un instrumento que trabaja con un computador el cual nos presenta los resultados que se obtienen instantáneamente y con un alto grado de precisión.

En cuanto a la Presión Capilar, para su determinación utilizamos el Plato Poroso, en el cual la muestra a ser analizada debe ser previamente saturada preferentemente con salmuera ya que ésta presenta características químicas parecidas a las que se tienen en un yacimiento de petróleo. Con los datos de presión obtenidos en el plato poroso y

mediante la utilización de ecuaciones matemáticas obtenemos los valores de saturación correspondientes, con lo cual podemos realizar la curva de  $S_w$  vs.  $P$ .

Por último se detalla la utilización del Espectrómetro DR/3, DREL/5, para efectuar pruebas de Colorimetría, Transmisibilidad de la luz, y Conductancia de los Fluidos detallando los pasos a seguir para la preparación de las muestras, las mismas que necesitan un tratamiento particular ya que según éstas sean, se requiere tanto de una escala de medición de % T y Conductancia apropiadas así como de reagentes químicos (pillows) que se utilizan para lograr la reacción química apropiada para poder efectuar las lecturas correspondientes.

## INDICE GENERAL

RESUMEN

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE ABREVIATURAS

INTRODUCCION

### CAPITULO I

#### POROSIDAD

1.1 DETERMINACION DE LA POROSIDAD EFECTIVA

1.2 DETERMINACION DE LA POROSIDAD ABSOLUTA

1.3 FACTORES GEOLOGICOS QUE AFECTAN LA  
POROSIDAD

1.4 MAGNITUD TIPICA DE LA POROSIDAD

1.5 POROSIDAD DE LAS CALIZAS

1.6 DETERMINACION DE LA POROSIDAD POR EL  
METODO DE LA LEY DE BOYLE (POROSIMETRO  
DIGITAL)

### CAPITULO II

#### PRESION CAPILAR DE ROCAS DE ACUMULACION

2.1 DETERMINACION DE LA PRESION CAPILAR

2.2 METODOS PARA LA DETERMINACION DE LA  
PRESION CAPILAR

## 2.3 MANEJO DEL PLATO POROSO

### CAPITULO III

#### ESPECTROFOTOMETRIA

##### 3.1 METODOS OPTICOS DE ANALISIS

##### 3.2 ESPECTROFOTOMETRIA POR ABSORCION DE LA LUZ O ABSORCIOMETRIA

##### 3.3 DOMINIO DE APLICACION Y VENTAJAS DEL METODO

##### 3.4 MANUAL DEL ESPECTROFOTOMETRO PORTATIL MODELO DR/3, DREL/5

##### 3.5 UTILIZACION DE LA CELDA DE FLUJO DIRECTO

##### 3.6 UTILIZACION DEL ADAPTADOR DE ACCU VAC

##### 3.7 MEDICION DE LA CONDUCTIVIDAD

##### 3.8 MEDICIONES DE TEMPERATURA

##### 3.9 ESTANDARIZACION DEL CIRCUITO CONDUCTIVO

##### 3.10 CALIBRACION DE LA TEMPERATURA

##### 3.11 AJUSTE DEL RANGO DE LA SENAL

##### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

##### FIGURAS

##### BIBLIOGRAFIA

## INDICE DE ABREVIATURAS

|                              |  |
|------------------------------|--|
| A                            | Area Transversal (cm <sup>2</sup> , pies <sup>2</sup> ).         |
| Δ                            | Diferencial.   |
| Δf <sub>avg</sub>            | Diferencial de Densidad Promedia de la interfase agua-petróleo.  |
| C                            | Conductividad (mhos).  |
| D <sub>(r<sub>1</sub>)</sub> | Función Distribución.  |
| dr <sub>i</sub>              | Gradiente del Radio de drene en el punto "i".                    |
| dV                           | Gradiente de Volumen.  |
| dP                           | Gradiente de Presión.  |
| E <sub>o</sub>               | Energía del electrón en un nivel externo.                        |
| E <sub>i</sub>               | Energía del electrón en un nivel interno.                        |
| g                            | Aceleración de la gravedad (pies/cm <sup>2</sup> ).              |
| h                            | Distancia vertical de la interfase agua-petróleo.                |
| K                            | Permeabilidad (md.)  |
| P <sub>c</sub>               | Presión Capilar (Dinas/cm <sup>2</sup> ).                        |
| P <sub>c<sub>i</sub></sub>   | Presión Capilar en el punto "i" (PSIG).                          |
| P <sub>f</sub>               | Presión en el sistema total (PSIG).                              |
| P <sub>o</sub>               | Presión en la fase petróleo (PSIG).                              |
| P <sub>oo</sub>              | Presión original de carga (PSIG).                                |
| P <sub>of</sub>              | Presión del Helio antes de la expansión (PSIG).                  |
| P <sub>oe</sub>              | Presión en la cámara de referencia antes de la expansión (PSIG). |

|            |   |
|------------|---|
| $P_e$      | Presión en el sistema despues de la expansión (PSIG). |
| $P_w$      | Presión en la fase agua (PSIG).                       |
| $Q$        | Taza de Flujo (cc/sg; pies <sup>3</sup> /sg).         |
| $R_f$      | Lectura final de la bomba de Mercurio.                |
| $R_o$      | Lectura inicial de la bomba de Mercurio.              |
| $r_1$      | Radio de los poros (cm; pies).                        |
| $S_m$      | Saturación de inyección de Mercurio (%).              |
| $S_o$      | Saturación del petróleo (%).                          |
| $S_w$      | Saturación de agua (%).                               |
| $T$        | Temperatura (°C; °F).                                 |
| $V_b$      | Volumen total de las rocas (cc).                      |
| $V_{calb}$ | Volumen del disco de calibración (cc).                |
| $V_{dead}$ | Volumen "muerto" del porosímetro (cc).                |
| $V_p$      | Volumen poroso (cc).                                  |
| $V_{ref}$  | Volumen de referencia (cc).                           |
| $V_g$      | Volumen de los granos (cc).                           |
| $v$        | Velocidad de las partículas (pies/sg; cm/sg).         |
| $W$        | Peso (gr).  |
| $W_b$      | Peso del beaker (gr).                                 |
| $W_{dry}$  | Peso seco de la muestra (gr).                         |
| $W_g$      | Peso de los granos (gr).                              |
| $W_t$      | Peso total (gr).                                      |
| $f$        | Densidad (lb/pies <sup>3</sup> ; gr/cc).              |
| $f_o$      | Densidad del petróleo (lb/pies <sup>3</sup> ; gr/cc). |



|          |   |
|----------|---|
| $f_w$    | Densidad del agua (lb/pies <sup>3</sup> ; gr/cc). |
| $\xi$    | Factor de litología.                              |
| $\phi$   | Porosidad (%).                                    |
| $\mu$    | Viscosidad (cps).                                 |
| $\sigma$ | Tensión interfacial (Dinas/cm).                   |

## INDICE DE FIGURAS

FIG. No.

- 2-1. PRESION CAPILAR EN FUNCION DE LA SATURACION DE FLUIDO EN UNA ROCA DE ACUMULACION.
- 2-2. CURVAS DE PRESION CAPILAR PARA MEDIOS CUYA DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE LOS POROS VARIA
- 2-3. APARATO PARA DESATURAR NUCLEOS EMPLEADO PARA DETERMINAR LA PRESION CAPILAR
- 2-4. INTERVALO DE OPERACION EN PRUEBAS DE PRESION CAPILAR SOBRE UN DIAFRAGMA POROSO
- 2-5. PRESION CAPILAR EN FUNCION DE LAS ETAPAS DE SATURACION DE FLUIDOS
- 2-6. DETERMINACION DE LA PRESION CAPILAR POR MEDIO DEL METODO DE INYECCION DE MERCURIO
- 2-7. CURVA DE SATURACION VS. PRESION CAPILAR

## INDICE DE FOTOS

### FOTO No.

1. POROSIMETRO DIGITAL
2. CAMARA DE CALIBRACION Y MEDIDOR DIGITAL DE PRESION.
3. PLATO POROSO
4. ESPECTROMETRO DREL/5
5. PANEL DE CONTROLES DEL ESPECTOMETRO DREL/5
6. TARJETA DE MEDICION Y TOMA DE PRUEBAS
7. SET DE REAGENTES ALMOHADILLADOS (PILLOWS)
8. ANALISIS COLORIMETRICO DE NITRITOS

## INTRODUCCION

La implementación de un Laboratorio de Petrofísica es una de los puntos básicos que se necesita para poder lograr un desarrollo teórico-práctico acorde con los intereses cada vez mayores de la industria petrolera.

Por lo tanto el presente trabajo intenta solucionar la falta de manuales para el manejo de los equipos de laboratorio de Petrofísica y Yacimientos existentes actualmente en la facultad; primeramente realizamos un análisis teórico de la porosidad, presión capilar y espectros de luz; en los cuales se basan los equipos descritos a continuación: Porosímetro Digital, Plato Poroso, Espectrómetro DRE/3, DREL/5.

Así mismo se realiza una descripción detallada de los pasos a seguir para lograr una correcta manipulación de los equipos, los parámetros necesarios para efectuar cada una de las pruebas, los cálculos realizados, y por último los resultados obtenidos.

## CAPITULO # I

### POROSIDAD

La porosidad es la característica física más conocida de un yacimiento de petróleo. Determina los volúmenes de petróleo o gas que pueden estar presentes y todas las operaciones de recuperación se basan en la determinación de su valor.

La porosidad de un material se define como la fracción de volumen total de la roca no ocupada por el esqueleto mineral de la misma; en los yacimientos de petróleo la porosidad representa el porcentaje del espacio total que puede ser ocupado por líquidos o gases. Dicha propiedad determina la capacidad de acumulación o de depósito de la arena y generalmente se expresa como porcentaje, fracción o decimal y se la representa con la letra griega  $\phi$ .

La expresión general para determinar la porosidad es la siguiente:

$$\phi = (V_b - V_s) / (V_b) = V_p / V_b \quad \text{Ec. (1.1)}$$

Donde:

$\phi$  = porosidad

$V_b$  = volumen total de roca

$V_s$  = volumen de los granos

$V_p$  = volumen poroso

Para ilustrar este principio considere la figura 1.1 la cual muestra varios arreglos de empaquetamiento de esferas y el computo de su porosidad. El volumen total de cada configuración, es la figura formada por la conexión central de ocho esferas adyacentes (4 al frente y 4 en su parte posterior). Cada volumen total así formado contiene una esfera como sólido cerrado o volumen de grano.

Existe dos clases de porosidad: absoluta y efectiva.

La Porosidad absoluta es el porcentaje de espacio total con respecto al volumen de la roca sin tener en cuenta si los poros están interconectados entre sí o no. Una roca puede tener una porosidad absoluta considerable y aún no tener conductividad a fluidos debido a la falta de intercomunicación de los poros. Este es el caso de la lava y otras rocas ígneas con porosidad vecicular.

La porosidad efectiva es el porcentaje de espacio poroso intercomunicado con respecto al volumen total de la roca. Por consiguiente es una indicación de la conductividad de fluidos, aunque no es una medida de ellos necesariamente.

La porosidad efectiva es una función de muchos factores litológicos, los más importantes son: tamaño de los granos, empaquetamiento de los mismos, cementación, meteorización y lixiviación, cantidad y clase de arcilla y estado de hidratación de la misma.



## 1.1 DETERMINACION DE LA POROSIDAD EFECTIVA

Existen varios métodos para su determinación, en los cuales se toma una muestra consolidada y se le extraen los fluidos con un solvente y luego se secan. El volumen total se determina colocando la muestra dentro de un líquido que no penetre en ella y observando el desplazamiento que ocurre, o bien saturando la muestra y luego colocando la misma dentro de un líquido apropiado y observando el desplazamiento del líquido.

El volumen de los granos de la muestra se puede determinar por el desplazamiento volumétrico de un gas o de un líquido, mientras que el volumen de los poros se puede determinar midiendo la cantidad de líquido requerido para saturar la muestra.

Los resultados obtenidos sin embargo son una medida de la porosidad absoluta más bien que de la porosidad efectiva.

## 1.2 DETERMINACION DE LA POROSIDAD ABSOLUTA

En la determinación de la porosidad absoluta se consideran todos los poros de la muestra interconectados o no. El procedimiento requiere la trituration de la muestra. La extracción y secado

necesarios para la determinación de la porosidad efectiva se pueden omitir en la determinación de la porosidad absoluta.

### 1.3 FACTORES GEOLOGICOS QUE AFECTAN LA POROSIDAD

La porosidad es una propiedad de las rocas, de gran importancia en los yacimientos de gas y petróleo ya que determina la capacidad de acumulación de fluidos.

La porosidad en los sedimentos se forma y se reduce o elimina por procesos geológicos naturales; la existencia de la porosidad primaria o secundaria se debe a condiciones geológicas.

La porosidad primaria resulta de los vacíos que quedan entre los granos y los fragmentos minerales después que se acumulan como sedimentos.

La porosidad secundaria resulta por la acción de agentes geológicos tales como lixiviación, fracturamiento o fisuración que ocurren después de la litificación de los sedimentos.

De todos los sedimentos, las rocas más porosas y permeables son las areniscas; aunque se asume que los carbonatos contienen la mayor parte de las reservas

del mundo, hay muchas provincias en donde no se encuentran calizas dolomíticas.

#### 1.4 MAGNITUD TIPICA DE LA POROSIDAD

La porosidad de las areniscas puede ser de dos tipos, intergranular y de fracturas. La porosidad intergranular es el espacio neto que queda después que la porosidad inicial ha sido reducida por agentes geológicos tales como consolidación, cementación, recristalización, granulación, molimiento etc.

La porosidad primaria de una arenisca o de cualquier otra roca clástica depende inicialmente del grado de distribución o arreglo de los granos según su tamaño.

Los granos de arena bien distribuidos, y moderadamente redondeados, depositados en agua, resultan en un empaque de 30 % a 40 % de porosidad.

En sedimentos de distribución deficientes, los granos más pequeños se acomodan en los espacios existentes entre los granos más grandes, lo que reduce considerablemente la porosidad.

Gran parte de la porosidad en algunas areniscas y

limolitas aparentemente compactas se deben a fracturas que son sin embargo responsables de la mayor parte de la permeabilidad del yacimiento. La consolidación (compactación), es el factor geológico que reduce la porosidad debido a la presión de los sedimentos superpuestos o a la presión orogénica.

La cementación es el agente que tiene mayor efecto sobre la porosidad original y afecta el tamaño, forma y continuidad de los canales debido a una posible depositación de cuarzo secundario, calcita y dolomita o combinaciones de estas. El proceso de recristalización no es un factor importante en la porosidad de una arenisca.

Es de interés observar el efecto de granulación y el molimiento de los granos de arena sobre la porosidad a grandes profundidades bajo la presión de los sedimentos superpuestos; a medida que la presión de los sedimentos superpuestos aumenta, los granos de cuarzo tienden a formar una empaquetadura más compacta en una arenisca.



La persistencia de porosidad a grandes profundidades en cuencas sedimentarias profundas es motivo de gran interés actualmente en perforación.

## 1.5 POROSIDAD DE LAS CALIZAS

El desarrollo de la porosidad en un yacimiento de carbonato se diferencia en muchos aspectos de uno de arenisca. Mientras que en las areniscas se puede esperar un alto grado de continuidad horizontal, el desarrollo de porosidad en rocas de carbonato es de extensión

limitada tanto horizontal como verticalmente: en las calizas es raro encontrar porosidad laminar, la porosidad promedio es inferior generalmente a la de las areniscas, su valor promedio entre 6 y 8 % de porosidad. La razón por la cual las calizas forman yacimientos prolíficos se debe al mayor espesor de las capas.

Como en las areniscas la porosidad en las rocas de carbonato puede ser primaria o secundaria.

1.5.1 La porosidad primaria en las rocas de carbonato puede resultar de:

- Vacíos intersticiales entre granos clásticos de una roca detrítica de carbonatos, tal como en conglomerados, brecha, coquina, oolita, creta, etc.
- Vacíos formados de esqueletos cuando se

remueve materia orgánica de corales y algas calcáreas.

- Vacíos intercristalinos formados en calizas cristalinas.

Los yacimientos de gas o de petróleo constituidos por calizas con porosidad primaria rara vez son importantes excepto en facies cretáceas y oolíticas.

1.5.2 En rocas de carbonato, la porosidad secundaria puede originarse de:

- Diaclasas causadas por consolidación, contracción, esfuerzos tectónicos o cambios mineralógicos.

Las diaclasas consisten en una serie de fracturas que siguen un arreglo consistente con grupos de fracturas paralelas las unas a las otras, mientras que otros grupos intersectan los primeros en un ángulo determinado. Generalmente las diaclasas se encuentran en las crestas de los anticlinales. Por consiguiente, la porosidad formada por el efecto de soluciones se desarrollan más que todo en las partes altas de las estructuras en donde las aguas meteóricas encuentran fácil acceso.

- Acción de lixiviación por aguas subterráneas. Este proceso desarrolla la porosidad por medio de soluciones y está relacionada con la topografía de antiguas superficies de erosión.

La porosidad de la mayoría de los yacimientos de caliza se debe a este tipo de desarrollo.

- Dolomitización. El mecanismo del desarrollo de porosidad por dolomitización no se ha establecido claramente, pero se cree que es el resultado de la sustitución molecular de calcio por magnesio en las calizas, dando como resultado porosidades hasta del 12%.

Archie(1951), clasificó en una forma bastante práctica la porosidad de los carbonatos en: porosidad cristalina compacta, porosidad cretácea y porosidad granular-sacaroidal.

#### 1.6 DETERMINACION DE LA POROSIDAD POR EL METODO DE LA LEY DE BOYLE

**PRECAUCION:** El mercurio es una sustancia tóxica. Evite su contacto y sus vapores. Cualquier derrame de mercurio debe ser limpiado prontamente.

El volumen de los granos es determinado por la expansión del Helio a temperatura constante. La ley de Boyle indica que:

$$PV = \text{Cte.} \quad (\text{a temperatura constante})$$

El Helio es un gas eficaz para la determinación de la porosidad ya que tiene una molécula insignificante, proveyendo una buena penetración en la muestra y además a bajas presiones (bajo 100 PSIG), actúa como un gas ideal.

Para determinar el volumen de los granos, se necesita determinar el volumen de la cámara de referencia. Esto es realizado en las primeras dos expansiones.

**Primero:** el Helio es expandido dentro del portador de muestras lleno con los insertos para determinar el volumen muerto del equipo.

$$V_{ref} * P_{of} = (V_{of} + V_{dead}) * P_f \quad \text{Ec. (1.2)}$$

Donde:

$V_{ref}$  es el volumen de referencia que necesita ser calibrado ( $\text{cm}^3$ ).

$P_{of}$  es la presión del Helio en el volumen de referencia antes de la expansión (PSIG).



$V_{dead}$  es el volumen "muerto" existente en la cámara de núcleos entre los discos de calibración, dentro de la válvula de expansión, etc. ( $cm^3$ )

$P_f$  es la presión en el sistema total (referencia más volumen muerto), después de la expansión. (PSIG)

**Segundo:** el Helio es expandido dentro del portador de muestras llenado con los discos de calibración C

$$P_{oc} * V_{ref} = P_c (V_{ref} + V_{dead} + V_{calb}) \quad Ec. (1.3)$$

Donde:

$P_{oc}$  es la presión original de carga (PSIG)

$P_c$  es la presión después de la expansión expresada en (PSIG)

$V_{calb}$  es el volumen del disco de calibración C ( $cm^3$ ).

Las ecuaciones 1.2 y 1.3 pueden ser escritas de la siguiente manera:

$$(P_{of} / P_f) = (V_{ref} + V_{dead}) / V_{ref} \quad Ec.(1.2)$$

$$(P_{oc} / P_c) = (V_{ref} + V_{dead} + V_{calb}) / V_{ref} \quad Ec.(1.3)$$

Empleando la ec. (1.2) en (1.3), tenemos:

$$(P_{oc} / P_c) - (P_{of} / P_f) = (V_{calb} / V_{ref})$$

Ec.(1.4)

Resolviendo para el volumen de referencia:

$$V_{ref} = V_{calb} / [(P_{oc} / P_c) - (P_{of} / P_f)]$$

Ec.(1.5)

El volumen de referencia es necesario para calcular el volumen de granos de la muestra cuando el Helio se expande dentro de la misma.

TABLA I.1 VOLUMENES CALIBRADOS POR EL  
POROSIMETRO

| T A M A Ñ O |                            |              |                            |
|-------------|----------------------------|--------------|----------------------------|
| 1 PULGADA   |                            | 1.5 PULGADAS |                            |
| SIMBOLO     | VOLUMEN<br>cm <sup>3</sup> | SIMBOLO      | VOLUMEN<br>cm <sup>3</sup> |
| A           | 1.563                      | A            | 3.803                      |
| B           | 4.722                      | B            | 10.914                     |
| C-R         | 6.334                      | C-R          | 14.552                     |
| D           | 9.519                      | D            | 21.721                     |
| E           | 14.257                     | E            | 32.525                     |

El inserto marcado C es el usado para determinar el volumen de referencia ( $V_{\text{caib}}$ ); cuando el volumen de referencia está estabilizado, el volumen de granos de la muestra puede ser calculado.

La tercera expansión del gas puede ser escrita como:

$$P_{\text{oe}} * V_{\text{ref}} = (V_{\text{ref}} + \Sigma V + GV + V_{\text{dead}}) * P_{\text{e}}$$

Ec (1.6)

Donde:

$\Sigma V$  representa el volumen de todos los insertos de calibración removidos cuando la muestra de roca fue cargada.

$P_{\text{oe}}$  es la presión en la cámara de referencia antes de la expansión (PSIG).

$V_{\text{dead}}$  es el volumen "muerto", en el porosímetro ( $\text{cm}^3$ ).

$V_{\text{ref}}$  es el volumen de referencia ( $\text{cm}^3$ ).

$P_{\text{e}}$  es la presión en el sistema después de la expansión (PSIG).

$GV$  es el volumen de granos de la muestra de prueba ( $\text{cm}^3$ ).

Utilizando la ecuación 1.2 en su segunda forma y arreglando la ecuación 1.6 tenemos:

$$P_{\text{oe}}/P_{\text{e}} = [(P_{\text{of}}/P_{\text{f}}) + (\Sigma V/V_{\text{ref}}) - (GV/V_{\text{ref}})]$$

Ec (1.7)



|                      |                           |
|----------------------|---------------------------|
| ROCA                 | DENSIDAD DE<br>LOS GRANOS |
| ANHIDRITA            | 2.90-3.00                 |
| ARCILLA              | 2.64-2.66                 |
| LIMESTON-<br>CALCITA | 2.70-2.76                 |
| DOLOMITA             | 2.82-2.87                 |
| FELDESPATO           | 2.64-2.66                 |
| ARENISCA             | 2.65-2.67                 |
| GYPNUM               | 2.30-2.40                 |
| QUARZO               | 2.59-2.66                 |

TABLA 1.2 VALORES TIPICOS DE DENSIDAD DE LOS GRANOS

Resolviendo para el volumen de granos tenemos:

$$GV = \sum V + V_{real} * [(P_{of} / P_r) - (P_{oa} / P_a)] \quad Ec (1.8)$$

La porosidad de la muestra es determinada usando las ec. (1.9) y (1.10)

$$PV = BV - GV \quad Ec (1.9) \quad \phi = PV / BV \quad Ec (1.10)$$

La densidad de los granos puede ser calculada por la division del peso seco para el volumen de granos de la muestra:

$$GD = W_{dry} / GV \quad Ec. (1.11)$$

1.6.1 EQUIPO REQUERIDO

- Muestra cilíndrica de roca
- Balanza de peso
- Bomba de Mercurio
- Porosímetro Coberli-Stevens

1.6.2 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DE LA POROSIDAD UTILIZANDO EL EQUIPO DIGITAL

1.6.2.1 Se requiere una muestra fresca, seca y limpia, registrar su peso como  $W_{dry}$ .

1.6.2.2 Usando una bomba de mercurio de desplazamiento positivo medir el volumen de la muestra.

- Llevar el nivel de mercurio en el portador de la muestra al tope del contacto del mismo. Una luz roja y una alarma marcaran el punto de contacto, la bomba debe ser movida solamente en dirección de las agujas del reloj, previamente debe tomarse una lectura y registrarse como  $R_0$ .
- Llevar el nivel de mercurio hacia abajo y abrir el portador de la muestra, cargar la muestra de

prueba y cerrar el portador. Llevar el nivel de mercurio al tope del contacto y registrar la lectura de la bomba. El movimiento debe ser en dirección de las agujas del reloj únicamente y antes debe tomarse una lectura. Registre la lectura de la bomba como R<sub>r</sub>. El volumen es obtenido por la diferencia entre las dos lecturas.

1.6.2.3 Verificar que las válvulas estén en las siguientes posiciones:

1. cerrada; 2. abierta a la atmósfera; 3. cerrada; 4. si la cámara de referencia es de 1.5 cc abierta para utilizar el mayor volumen de referencia y si es de 1.0 cc cerrada para utilizar el menor volumen de referencia.

1.6.2.4 Dirigir las tres válvulas de expansión (tope de la celda de expansión) hacia el desangre y cargar el portador de muestras con todos los insertos de calibración (A,B,C,D,E). Abrir al válvula #1 180°.

- 1.6.2.5 Dirigir la válvula de carga hacia la presión del aire y sellar la cámara de expansión. Entonces la presión es atmosférica, después que la válvula de expansión es abierta a desangrar.
- 1.6.2.6 Abrir y cerrar instantaneamente la válvula #3 para permitir la entrada de Helio a la cámara de calibración con una presión de 90-100 PSIG y establecer el volumen referencial. Registrar  $P_{of}$ .
- 1.6.2.7 Abrir la válvula #2 para permitir la entrada de Helio al sistema. Después que la presión se estabilice como  $P_r$ .
- 1.6.2.8 Abrir la válvula #2 y luego la válvula #1 a la atmósfera.
- 1.6.2.9 Sacar el inserto C de la cámara. Cerrar la válvula #1.
- 1.6.2.10 Abrir y cerrar la válvula #3 para llenar el volumen de referencia con He a 90-100 PSIG. Registrar  $P_{oc}$ .
- 1.6.2.11 Expandir el He dentro del portador cerrando la válvula #2



marcar esta presión como  $P_{0e}$ .

1.6.2.12 Con base en el programa presentado en el computador ingresar los parámetros que identifican la muestra como el "Bulb-Volume", "Dry Weight".

1.6.2.13 Llenar el portador de núcleos con la muestra de roca y los discos de calibración necesarios. Probar varias combinaciones con el fin de obtener el portador tan lleno como sea posible. Registrar todos los insertos omitidos. Su volumen total debe ser usado para calcular el volumen del grano.

1.6.2.14 Cargar el portador con la muestra y sellar el anillo O. Cerciórese que la válvula de expansión este apuntando hacia el desangre. (Abrir válvula #1).

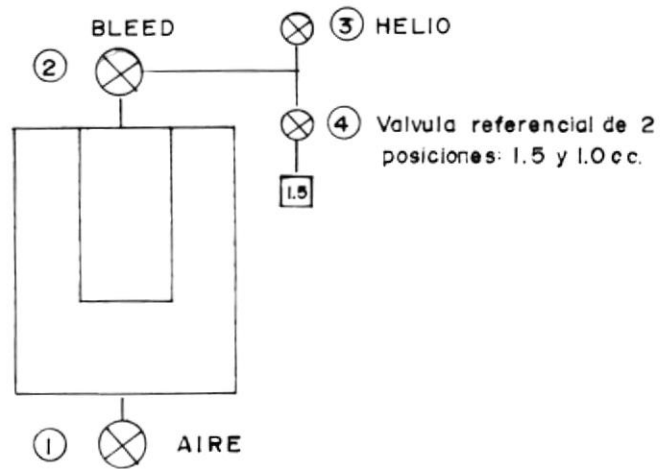
1.6.2.15 Abrir y cerrar instantaneamente la válvula #3 para cargar el volumen de referencia a 90-100 PSIG. Registrar esta presión como  $P_{0e}$ .

1.6.2.16 Expandir el Helio dentro del

portador abriendo la válvula #2 y después de que se establezca la presión regístrela como  $P_a$ .

1.6.2.17 Descargar la muestra, desconectar el transductor de presión y limpiar el equipo.

### 1.6.3 DIAGRAMA DEL SISTEMA



### 1.6.4 CORRIDA DEL PROGRAMA DE POROSIDAD

1.6.4.1 Preparar el sistema y conectarlo al computador.

1.6.4.2 Llamar al DIR del disco duro.

1.6.4.3 Escoger el archivo Lab.

1.6.4.4 Una vez en el directorio Lab. buscar el subdirectorio Por. para entrar en éste y mediante el procedimiento descrito anteriormente obtener los

resultados buscados.

#### 1.6.5 EJEMPLO DE CORRIDA DEL PROGRAMA

Bulk Volume: 56.025 cc Ref. Vol.: -67.271 cc

Dry Weigth: 131.356 g Vol. Removed: 58.649  
cc

$P_{of}$ : 22.362 psi  $P_r$ : 19.223 psi

$P_{oc}$ : 19.221 psi  $P_c$ : 19.224 psi

$P_{os}$ : 19.224 psi  $P_s$ : 19.223 psi

#### TEST RESULTS:

Porosity: 14.920 % Grain Density: 2.756 g/cc

Pore Volume: 8.359 cc Grain Vol: 47.667 cc



## CAPITULO # II

### PRESION CAPILAR DE ROCAS DE ACUMULACION

La presión capilar de una roca porosa se puede definir de varias formas:

- Es la presión diferencial entre las distintas fases movibles y entrelazadas de los fluidos que se encuentran dentro de la red porosa de la roca.
- Es la capacidad de succión de la roca para aspirar un fluido que trata de humedecerla.
- Es una medida de la tendencia de la roca a succionar la fase humectante del fluido o de rechazar la fase no humectante.
- Es una medida de la curvatura de las interfases entre los fluidos.

Para facilitar la explicación sobre presión capilar, la fig.2.1 representa dos granos esféricos de arena en contacto el uno con el otro. Considerar que son hidrófilos y repulsivos al petróleo. Cuando la saturación de agua en los poros es alta, la distribución del fluido se puede representar por la interfase 1, la curvatura de la misma es pequeña y la presión capilar es baja. Si se elimina el agua del sistema y se aumenta la saturación del petróleo, la interfase del fluido se puede representar por la interfase 2; en este caso la presión capilar entre las fases será mayor debido a que la curvatura interfacial es también más

grande.

Las variaciones en la presión capilar para este sistema se representan en la parte inferior de la fig. 2.1. La curva entre presión absoluta y saturación de agua es asintótica a la saturación irreducible de agua.

A continuación se presenta la relación que existe entre la presión capilar y la saturación de fluidos en conjunto de rocas que constituyen yacimientos petrolíferos. La presión capilar de una muestra de la roca de acumulación se puede saber, determinando la presión que se debe aplicar sobre un fluido no humectante para alcanzar una saturación determinada de dicho fluido. Si la abertura capilar más grande se considera circular, con un radio  $r$ , la presión necesaria para forzar el fluido no humectante será:  $dP = 2 \sigma \cos\theta / r$ ; que es la presión mínima a que el fluido no humectante comienza a entrar en el corazón, esta presión mínima se llama presión de desplazamiento del núcleo.

A medida que aumenta la presión de desplazamiento sobre el fluido no humectante, dicho fluido comienza a penetrar los capilares de radio más y más pequeños.

Si los capilares de la muestra son bastante uniformes en tamaño, no se necesita ningún exceso de presión para saturarlos con un fluido no humectante y el gráfico de presión capilar vs saturación de fluido consistirá en una

línea bastante plana hasta alcanzar la saturación irreducible.

Este caso se presenta en la curva 1 de la Fig.2.2; por el contrario si los capilares son de un tamaño heterogéneo la curva de presión sería inclinada como se representa en la curva 3. La curva 2 representa el caso intermedio en que la distribución del tamaño de los capilares es de una heterogeneidad media.

En resumen, la presión capilar de una roca de acumulación como función de la saturación de fluidos, es una medida de la distribución del tamaño capilar, lo que a su vez es una medida de la textura de la roca. Las rocas de textura fina compuesta de granos pequeños cementados y bien empaquetados exhiben una presión capilar más elevada a una determinada saturación que las rocas de textura gruesa compuestas de granos mal cementados y de empaquetadura floja.

## 2.1 DETERMINACION DE LA PRESION CAPILAR

Desde los trabajos de Leverett en 1941, está teóricamente aceptado que los fluidos in-situ drenan hacia abajo bajo fuerzas de gravedad o diferenciales de presión imprimidos. Esta importante relación establece que las saturaciones de los fluidos dentro de un reservorio deben ser menores en la región

superior (o alta), que en la región mas baja del mismo.

El comportamiento capilar y su coincidente tensión interfacial son usados para determinar los contenidos de fluidos en el reservorio y sus relaciones en altura por encima del nivel de agua libre, esto es, donde el contacto agua- petróleo ocurre o donde encontramos 100% de saturación de agua.

Matematicamente la presión capilar  $P_c$ , puede ser expresada así:

$$P_c = \Delta \rho_{avg} * gh = \tau(1/R_1 + 1/R_2) = P_o - P_w \quad Ec$$

(2.1)

Donde:

$P_c$  es la presión capilar

$P_o - P_w$  es la presión a través de la interfase agua - petróleo

$\Delta \rho_{avg}$  es la densidad diferencial promedio entre agua y petróleo

$g$  es la aceleración de la gravedad

$h$  es la distancia vertical de la interfase agua - petróleo.

La migración de los fluidos ha sido definida en base a tres tipos de saturaciones de agua en un medio poroso :

1.- Región de Saturación: Región de 100% de saturación de agua.

2.- Región Pendular: Región de la más baja saturación de agua, donde el agua cubre los granos de arena con una película delgada o en anillos pendulares.

3.- Región Funicular: Región de saturación intermedia de agua con el gas/petróleo entrampado como gotitas de la fase continua de agua.

La saturación de los fluidos puede ser determinada en el laboratorio como una función de la presión capilar. Varias técnicas pueden ser utilizadas, entre ellas tenemos: técnica centrífuga; modelo de empaque de arena; celda de presión capilar y/o inyección de mercurio.

Además, hay una técnica de diagramas la cual es referida como de estado restaurado, técnica en que los fluidos in situ (agua, petróleo y/o gas), son utilizados para desarrollar la presión capilar vs los datos de presión en una forma que casi reemplaza lo que actualmente ocurre en el reservorio. Esta última técnica (estado restaurado) es el método con el cual todos los otros resultados son comparados por lo cual se la considera como la más adecuada de las técnicas disponibles; la técnica de inyección de mercurio es considerada la más adecuada de las técnicas restantes.



pero sin embargo tiene efectos perjudiciales ya que puede destruir las muestras de núcleos.

Las dificultades con la técnica de estado restaurado se enfocan en dos áreas de problemas:

- 1.- La prueba es extremadamente agotadora, requiere periodos de tiempo superiores a días.
- 2.- Normalmente se obtiene muy pocos puntos como para obtener una adecuada distribución del tamaño de los poros.

La curva de Presión capilar vs. saturación deseada se presenta en la Fig. 2.3. La presión capilar deducida en laboratorio vs  $S_o$ ,  $S_w$ ,  $S_g$ , puede ser aplicada para determinar lo siguiente:

- a) La localización aproximada del contacto agua-petróleo en el reservorio.
- b) La localización aproximada del contacto gas-petróleo en el reservorio.
- c) La saturación del agua con nata en el reservorio.
- d) La saturación de agua y su distribución dentro del reservorio.
- e) La función J:

$$J_{S_w} = (P_c / \sigma) * (K_{\frac{1}{2}} / \phi) \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Donde:

$P_c$  es la presión capilar (dinas/cm<sup>2</sup>)

$\sigma$  es la tensión interfacial (dinas/cm)

$K$  es la permeabilidad (cm<sup>2</sup>)

$\phi$  es la porosidad.

Brown descubrió que correlacionando la función  $J$  dentro de un campo, obtenemos la saturación representativa de dicho campo, si las correlaciones son llevadas a cabo en una textura litológica básica.

- f) Saturaciones de los fluidos estáticos y variaciones dentro de un campo o formación con el siguiente formato polinomial:

$$S_w = a \log K + C \quad \text{Ec. (2.3)}$$

$$S_w = a_1 \phi + a_2 \log K + C \quad \text{Ec. (2.4)}$$

$$S_w = a_1 \phi + a_2 \phi^2 + a_3 \log K + a_4 (\log K)^2 + C \quad \text{Ec. (2.5)}$$

- g) La altura de la saturación sobre el contacto de agua libre será:

$$h = (P_c * 144) / (f_w - f_o) \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Donde:

$h$  es la altura sobre el contacto de agua libre (pies)

$f_w$  es la densidad del agua (lb/pie<sup>3</sup>)

$f_o$  es la densidad del petróleo (lb/pie<sup>3</sup>)

$P_c$  es la presión capilar a  $S_w$ .

- h) Determinación de la distribución del tamaño de los poros.
- i) Por la determinación de la pendiente  $AP/AS_w$ , del mercurio inyectado capilarmente. Igualando este valor de pendiente a:

$$D(r_1) = (P_{c1} / r_1) * (AS_m/AP_c) \quad \text{Ec. (2.7)}$$

Donde:

$D(r_1)$  es la función distribución que es igual a  $dV/dr$

$P_{c1}$  es el punto de presión capilar

$r_1$  es el punto de radio de los poros

$S_m$  es la saturación de inyección de mercurio (% de volumen de poros).

- j) Por la determinación de la permeabilidad :

- Por las técnicas de Burdine Ec.(2.8) :

$$K = (100\phi / 8*9.87*10^{-7}) * \Sigma[(AS_m*ri^4)/(Xi^2 * ri^2)]$$

- Por las técnicas de Purcell Ec.(2.9) :

$$K = 10.24 \phi \text{ } \xi (\sigma \text{ Cos}\theta)^2 \int ds/P_c^2$$

Donde:

$\sigma$  es la tensión interfacial de mercurio (aproximadamente 480 dinas/cm)

$\xi$  es el factor de litología.

## 2.2 METODOS PARA DETERMINAR LA PRESION CAPILAR

### 2.2.1 DESABSORCION DE NUCLEOS SATURADOS SOBRE UN DIAFRAGMA DE ALTA PRESION DE DESPLAZAMIENTO

La explicación que sigue se la hace con base en la figura 2.4 , en donde los núcleos estan inicialmente saturados por completo con un fluido humectante (generalmente agua innata). Los núcleos se colocan sobre un diafragma de material poroso, el tamaño promedio de los poros del diafragma debe ser más pequeño que el de los núcleos. Cuando un fluido no humectante (gas,aire,petróleo), se inyecta a presión dentro del recipiente que contiene los núcleos. el fluido empleado en la saturación del núcleo es desplazado a través del diafragma poroso y se registra el volumen del fluido desplazado de unas probeta graduada.

Para construir una curva de presión capilar, primero se aplica una presión en incrementos pequeños par así determinar la presión de desplazamiento a que el fluido no humectante comienza a penetrar. Cuando esta presión se determina, se aplica un pequeño incremento en la presión y se deja

por tiempo suficiente hasta cerciorarse de que no sale más fluido del núcleo. Luego se aplica otro incremento de presión y el fluido expulsado del núcleo se determina nuevamente.

La máxima presión de desplazamiento que se puede alcanzar con este método es la presión de desplazamiento del diafragma, punto en el cual la fase desplazante se abre paso y se echa a perder el experimento. El intervalo de saturación en que se puede trabajar con un diafragma de presión de desplazamiento se indica en la figura 2.5

Este procedimiento es lento pero tiene la ventaja de que pueden ensayarse varios núcleos simultáneamente en una misma cámara y utilizando la misma membrana porosa.

La fig.2.6 ilustra las relaciones entre las diferentes saturaciones y sus puntos de equilibrio, lo mismo que la presión crítica de admisión y la presión capilar correspondiente.

#### 2.2.2 METODO DE INYECCION DE MERCURIO

Este método desarrollado por Drake y Ritten(1945) consiste en inyectar mercurio a altas presiones dentro de una sustancia porosa. El mercurio generalmente no humecta las rocas de acumulación y posee además, una tensión superficial bastante alta (480 Din/cm), una ventaja del método es que permite usarlo en núcleos secos.

El procedimiento de la prueba se indica en la fig 2.7 ,y consiste en lo siguiente:el núcleo se coloca en un recipiente de mercurio A sobre el que se coloca la tapa B. Por medio de una bomba de vacío se elimina el aire de A y luego se bombea mercurio dentro del recipiente hasta observar su presencia en la llave de paso C, en cuyo momento se cierra la misma: una bomba de mercurio de alta presión D, se emplea para inyectar más mercurio dentro del sistema. La presión se determina para cada instrumento en volumen de mercurio que se inyecta, las presiones capilares de mercurio y de agua, están en una relación aproximada de 5:1.

La principal ventaja de este método consiste en la rapidez, una prueba completa puede tan solo tomar de 30 a 60 minutos, además el método es efectivo en muestras muy pequeñas de forma irregular, inclusive con cortaduras obtenidas del lodo de perforación.

X 2.3 MANEJO DEL PLATO POSOBO PARA LA DETERMINACION DE LA PRESION CAPILAR.

Para la determinación de la presión capilar de cualquier muestra de roca, ésta debe ser previamente saturada con una solución de salmuera.

Composición de la salmuera, solución de 1 kg.

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ..... 0.003 g (Sulfato de Hierro hidratado)

$\text{NaHCO}_3$ ..... 0.848 g (Carbonato Acido de Sodio)

$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ..... 3.455 g (Cloruro de Magnesio)

$\text{CaSO}_4$ ..... 2.049 g (Sulfato de Calcio)

$\text{CaCl}_2$ ..... 3.480 g (Cloruro de Calcio)

$\text{NaCl}$ .....46.441 g (Cloruro de Sodio)

-----

56.279 g.

Esto es: 56.279.00 mg./ litro = 56,279 PPM.

Previo a la obtención de la gravedad específica



la viscosidad de la salmuera, ésta debe ser filtrada a través de un papel filtro de 0.45 micras.

2.3.1 A continuación se describe la forma como debe ser preparada dicha solución.

2.3.1.1 Pesar un beaker de vidrio y anotarla como  $W_b$ .

2.3.1.2 Determinar el peso del soluto (salmuera) y registrarla como  $W_s$ .

2.3.1.3 El peso total de 1 Kg de solución (beaker, agua destilada y soluto) es:

$$W_t = W_b + (1000 - W_s)$$

2.3.1.4 Se determina la viscosidad de la salmuera utilizando un picnómetro de vidrio o un viscosímetro apropiado.

2.3.2 PROCEDIMIENTO PARA UTILIZAR EL PLATO POROSO.

2.3.2.1 Limpiar la membrana con agua destilada de tal forma que esté saturada y sin impureza.

2.3.2.2 Limpiar el aparato de presión capilar y colocar la membrana dentro de él. Conectar el ducto que esta sobre la membrana.

- 2.3.2.3 Colocar un kleener sobre la membrana y humedecerla; sobre el mismo se colocará la muestra.
- 2.3.2.4 Pesar la muestra saturada 100 % localizada en el desecador. Tomar nota de las características del núcleo tales como: Identificación de la muestra, longitud, diámetro, volumen poroso, porosidad, permeabilidad, peso seco, peso húmedo.
- 2.3.2.5 Colocar la muestra dentro del aparato de presión capilar, ajustar los tornillos correctamente asegurándose que el empaque este colocado correctamente.
- 2.3.2.6 Colocar la entrada de aire al AIR INLET o HIGH REGULATOR.
- 2.3.2.7 Conectar la manguera del regulador a la válvula de entrada (válvula #1) y colocar  $P = 1$  PSIG.
- 2.3.2.8 Abrir la válvula de salida (válvula # 2) a la presión de una atmósfera y rescatar el agua a través de un beaker.

- 2.3.2.9 Abatir la presión a la atmósfera. Abrir la tapa y pesar la muestra, la cual será reportada a la presión capilar  $P_c$  de 1 PSI.
- 2.3.2.10 Colocar la muestra en el aparato de Presión capilar e incrementar la presión a 2 PSI. Cerrar la válvula # 2.
- 2.3.2.11 Aliviar la presión a la atmósfera a través de la válvula # 1 y pesar la muestra, la cual será reportada a la presión capilar de 2 PSI.
- 2.3.2.12 Incrementar la presión a 4 PSI continuar con el procedimiento anterior. Aliviar la presión a través del regulador.

### 2.3.3 DATOS Y CALCULOS DE LA PRUEBA

#### Muestra # 2 (E):

|                 |            |
|-----------------|------------|
| Longitud:       | 2.36 cm    |
| Diámetro:       | 2.515 cm   |
| Volumen poroso: | 3.752 cc   |
| Permeabilidad:  | 293 md     |
| Porosidad:      | 16%        |
| Peso seco:      | 21.8102 gr |

Peso húmedo: 25.7212 gr a  $P_c = 0$

### 2.3.3.1 CALCULO DE LA PERMEABILIDAD CON NITROGENO

Lectura del medidor de flujo:

26.0 mm

Lectura del manómetro: 0.25 atm

Diámetro del núcleo: 2.515 cm

Longitud del núcleo: 2.36 cm

Temperatura: 19°C

Taza Promedia de curva de calibración: 8.8 cc/s

Viscosidad del N: 0.0175 Cp

Area transversal: 4.96 cm<sup>2</sup>

Por lo cual tenemos entonces:

$$K = \mu Q L / A P$$

$$K = \mu Q L / 0.25 \times A$$

$$K = 4 \mu Q L / A$$

$$K = 4(0.0175)(8.8)(2.36) / 4.968$$

$$K = 0.293 \text{ Darcies}$$

$$K = 293 \text{ milidarcies}$$

Volumen de la muestra y volumen poroso:

$$V_{rx} = 2(3.1416) * R^2 * L$$

$$V_{rx} = 23.45 \text{ cc}$$

$$\phi = V_P / V_{rx}$$

$$V_P = \phi * V_{rx} = 0.16 (23.45)$$

$$V_{pB} = 3.752 \text{ cc.}$$

#### 2.3.4 DATOS Y CALCULOS DE LA SOLUCION DE SALMUERA

2.3.4.1 Peso del beaker de vidrio

$$W_b = 549.75 \text{ gr.}$$

2.3.4.2 Peso del soluto (salmuera):

$$W_a = 56.27 \text{ gr.}$$

2.3.4.3 Peso total de 1 kg. de solución  
(beaker agua destilada y soluto)

$$W_t = W_b + (1000 - W_a)$$

$$W_t = 549.75 + (1000 - 56.27)$$

$$W_t = 1493.48 \text{ gr.}$$

2.3.4.4 Viscosidad de la salmuera

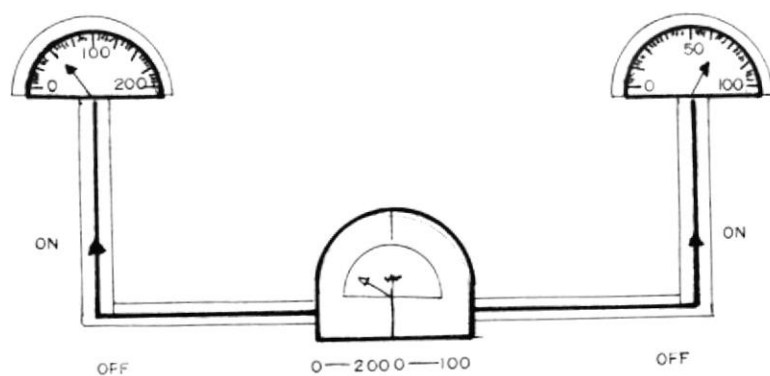
$$R_{OH_2O} = 1.017$$

$$\mu = \text{cte. del viscosimetro} \\ t(\text{seg}) * R_0$$

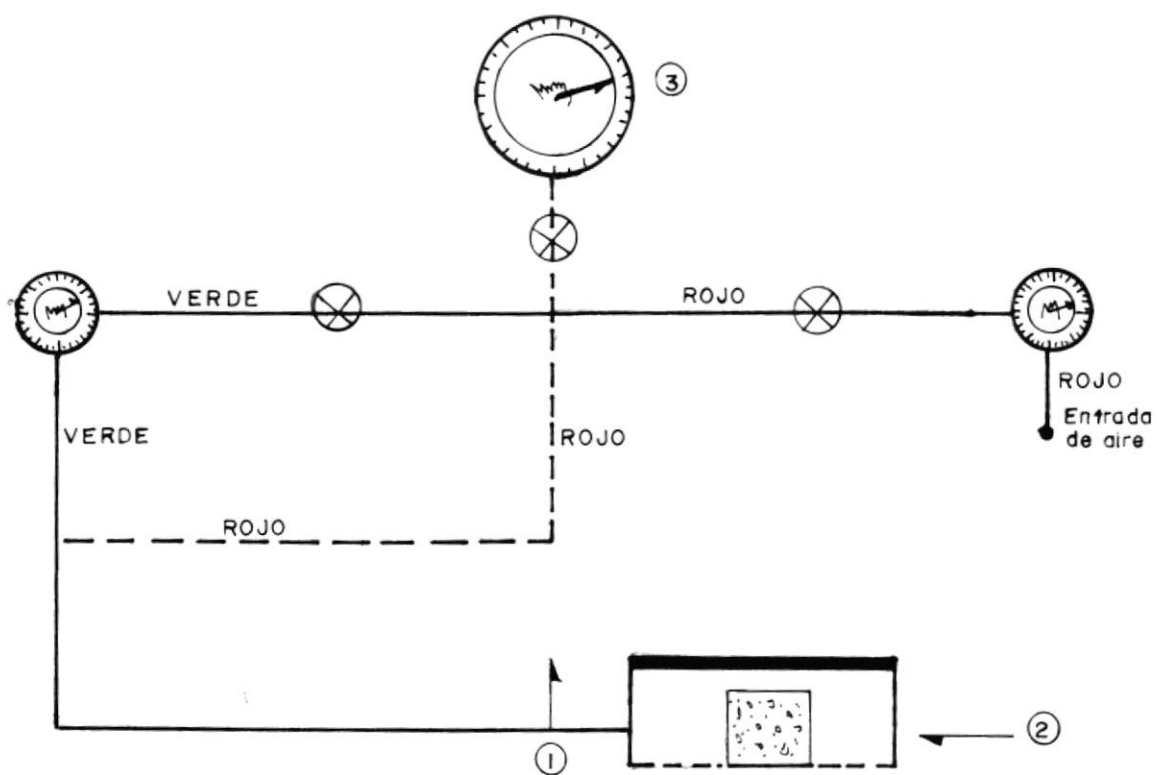
$$\mu = 0.00973 * 100.2 * 1.017$$

$$\mu = 0.992 \text{ cps}$$

2.3.5 DIAGRAMA DEL MEDIDOR DE PRESIONES



2.3.6 DIAGRAMA DEL EQUIPO (PLATO POROSO)



2.3.7 TABLA DE DATOS Y RESULTADOS

| PESO<br>(gr) | Pc<br>(PSIG) | Sw<br>(%) |
|--------------|--------------|-----------|
| 25.7212      | 0            | 100.0     |
| 25.705       | 1            | 100.0     |
| 25.4716      | 2            | 95.95     |
| 25.4208      | 4            | 94.62     |
| 25.3650      | 8            | 93.164    |
| 24.3571      | 16           | 66.74     |
| 23.5440      | 32           | 45.43     |
| 23.2210      | 64           | 36.97     |
| 22.9121      | 128          | 28.90     |
| 22.2184      | 200          | 10.69     |

2.3.8 CALCULOS

$$S_w = V_w / V_p \quad \text{--->} \quad S_w = (V_1 - V_2) / V_p$$

$$S_w = V_w / v_p = (W_w / \rho) / V_p \quad \text{---->}$$

$$S_w = (W_{m1} - W_{m2}) / \rho_w V_p$$

$$S_w = (W_{m1} - W_{m2}) / \rho_w V_p \quad \text{----->}$$

$$S_w = (W_{m1} - 21.8102) / (1.017)(3.752)$$

$$P = 1$$

$$S_w = (25.705 - 21.8102) / 3.8158 = 1.02 * 100$$

$$S_w = 100 \%$$

$$P = 2$$

$$S_w = (25.4716 - 21.8102) / 3.8158 = 0.959 * 100$$

$$S_w = 95.95 \%$$

$$P = 4$$

$$S_w = (25.4208 - 21.8102) / 3.8158 = 0.946 * 100$$

$$S_w = 94.6 \%$$

$$P = 8$$

$$S_w = (25.3571 - 21.8102) / 3.8158 = 0.9317 * 100$$

$$S_w = 93.17 \%$$

$$P = 16$$

$$S_w = (24.357 - 21.8102) / 3.8158 = 0.667 * 100$$

$$S_w = 66.7 \%$$

$$P = 32$$

$$S_w = (23.544 - 21.8102) / 3.8158 = 0.454$$

\*100

$$S_w = 45.4 \%$$

$$P = 64$$

$$S_w = (23.221 - 21.8102) / 3.8158 = 0.369$$

\*100

$$S_w = 36.9 \%$$

$$P = 128$$

$$S_w = (23.912 - 21.8102) / 3.8158 = 0.289$$

\*100

$$S_w = 28.9 \%$$

$$P = 200$$

$$S_w = (22.218 - 21.8102) / 3.8158 = 0.106$$

\*100

$$S_w = 10.69 \%$$





## CAPITULO III

### ESPECTROFOTOMETRIA

#### EL ESPECTRO DE ABSORCION

Cuando un rayo de luz atravieza un prisma, el rayo se desvia o se refracta; la refracción depende de la longitud de onda.

Una onda con una longitud de onda corta se desvia más que una con longitud de onda larga. Debido a que la luz blanca ordinaria está formada por ondas con todas las longitudes de onda en el espectro visible, un rayo de luz blanca se esparce en una banda ancha llamada espectro continuo. El espectro es un arco iris de colores sin espacios vacíos; el violeta se convierte en azul, el azul en verde y así sucesivamente.

Cuando los gases o vapores de una sustancia química se calientan en un arco eléctrico o en un mechero bunsen, se produce luz. Si un rayo de esta luz se pasa a través de un prisma, se produce un espectro de líneas Fig.3.1

Este espectro esta formado por un número limitado de líneas coloreadas, cada una de las cuales corresponde a diferentes longitudes de onda de luz. El espectro de líneas de cada sustancia es único.

Las frecuencias que corresponden a la línea en la región visible del espectro del hidrógeno se representa por la



ecuación:  $v = c / \tau = (3.289 * 10^{15} / S)(1 / 2^2 - 1/n^2)$ ;

$n = 3,4,5.....$

Donde:

$n$  es un número entero igual o mayor que tres.

En 1913, NIELS BOHR propuso una teoría para la estructura electrónica del átomo de hidrógeno que explicaba el espectro de líneas de este elemento. El átomo de hidrógeno contiene un electrón y un núcleo que consiste de un solo protón. La teoría de BOHR incluye los siguientes puntos:

1. EL electrón del átomo de hidrógeno puede existir solamente en ciertas órbitas esféricas (las cuales se llaman niveles de energía o capas de energía). Estos niveles se hallan dispuestos concéntricamente alrededor del núcleo. Cada nivel está designado por una letra (K,L,M,N,O,...) o un valor de  $n$  (1,2,3,...).

2. El electrón posee una energía definida y característica de la órbita en la cual se mueve. El nivel K ( $n=1$ ), es el nivel más cercano al núcleo y tiene el radio más pequeño. Un electrón en el nivel K tiene la energía más baja posible. Con el aumento de la distancia del núcleo (K,L,M,N,O,...;  $n=1,2,3,...$ ), el radio del nivel y la energía de un electrón en el nivel aumenta.

3. Cuando los electrones de un átomo están lo más cerca

posible del núcleo (para el hidrógeno, un electrón en el nivel K), éstos se hallan en la condición de la energía más baja posible, llamado ESTADO FUNDAMENTAL o BASAL. Cuando los átomos se calientan en arco eléctrico o mechero de Bunsen, los electrones absorben energía y pasan a niveles exteriores, los que son estados superiores. Se dice entonces que los átomos están en estado excitado.

4. Cuando un electrón vuelve a un nivel inferior, emite una cantidad definida de energía. La diferencia de energía entre el estado de energía superior y el estado de energía inferior es emitida en la forma de un cuanto de luz. El cuanto de luz tiene una frecuencia y longitud de onda características y produce una línea espectral, muchos átomos absorben energía al mismo tiempo que otros la emiten. Bohr derivó una ecuación para la energía que tendría un electrón en cada órbita.

Simplificada esta ecuación es:

$$E = - ( 2.179 * 10^{-18} \text{ J} ) / n^2 ; \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Indicaremos la energía de un electrón en un nivel exterior (no), con  $E_o$  y la energía del electrón en un nivel interno (ni) con  $E_i$ . Cuando el electrón pasa de un nivel exterior a uno interior ( $E_o - E_i$ ), se desprende un fotón de luz.

De acuerdo a la ecuación de PLANCK, la energía del fotón es

igual a  $h\nu$ , por consiguiente:

$$h\nu = E_0 - E_1$$

$$h\nu = -[(2.179 * 10^{-18} \text{ J}) / n_0^2] - [(-2.179 * 10^{-18} \text{ J}) / n_1^2]$$

$$h\nu = (2.179 * 10^{-18} \text{ J}) [(1 / n_1^2) - (1 / n_0^2)]$$

puesto que  $h = 6.626 * 10^{-34} \text{ J} * \text{sg}$ .

$$\nu = [(2.18 * 10^{-18} \text{ J}) / (6.62 * 10^{-34} \text{ J} * \text{s})] / (1/n_1^2 - 1/n_0^2)$$

$$\nu = (3.289 * 10^{15} / \text{sg}) (1 / n_1^2 - 1 / n_0^2)$$

Las líneas producidas por transiciones electrónicas al nivel

$n = 2$ , de estados superiores están descritos por la ecuación

$$\nu = (3.289 * 10^{15} / \text{sg}) (1/2^2 - 1/n_0^2) ; n=3,4,5,\dots$$

En la Fig. 3.2 se muestra la relación entre algunas de las transiciones electrónicas del átomo de hidrógeno y las líneas espectrales. Puesto que las transiciones electrónicas al nivel  $n = 1$  (Serie de Lyman) liberan más energía que las del nivel

$n = 2$  (Serie de Balmer). Por otra parte las líneas de la serie de Paschen, representan transiciones al nivel  $n = 3$

### 3.1 METODOS OPTICOS DE ANALISIS

Los métodos que se siguen son los que ponen en juego diversas radiaciones de todas las longitudes de onda: rayos cósmicos, rayos gamma, rayos X, rayos ultravioletas, rayos visibles, rayos infrarrojos, ondas centimétricas, y ondas hertzianas.

Los principales fenómenos que se utilizan son:

- Emisión de radiaciones
- Absorción de radiaciones
- Fluorescencia (Absorción, después de emisión )

Los fenómenos pueden clasificarse según que en ellos intervengan:

3.1.1 Las propiedades moleculares, en las cuales intervienen los electrones que participan en los enlaces químicos. Se trata principalmente de la absorción de la luz en el ultravioleta, visible, y en el infrarrojo

3.1.2 Las propiedades atómicas, en las cuales intervienen los electrones de los átomos. Estos son principalmente la espectroscopía de emisión y la absorción atómica, y los métodos que hacen uso de los rayos X por otra.

absorciometría tiene hoy una importancia más grande que la volumetría.

Sus principales ventajas son las siguientes:

- Es de un empleo muy general. Si la sustancia a determinar es poco absorbente, se tiene el recurso de añadir un reactivo conveniente que dé un compuesto absorbente.
- Puede alcanzar gran sensibilidad. Es el método utilizado con más frecuencia para la absorción de trazas.
- Puede ser extremadamente rápida a consecuencia de su utilización para medidas directas sin adición de solución valorada.
- Por último el método dispone de algo muy importante como es, que por comparación con la solución que contiene todas las sustancias interferentes (ensayo en blanco), se puede determinar a menudo una sustancia en presencia de otras sustancias absorbentes .

Por otra parte el método permite seguir una reacción y determinar el punto de equivalencia.

Este es además un método general de análisis de reacciones. Permite a menudo de una manera específica, seguir la concentración de las sustancias en el curso de las reacciones en función del tiempo si se desea. Los aparatos con registro permiten obtener con rapidez todo o una parte del espectro de absorción.

### 3.2 ESPECTROFOTOMETRIA POR ABSORCION DE LA LUZ O ABSORCIOMETRIA

Es un método muy general cuyo procedimiento es el siguiente: un haz luminoso de longitud de onda determinada atraviesa la solución (a veces el gas) objeto de análisis y de la proporción de la intensidad luminosa absorbida por la solución se deduce la concentración de la sustancia absorbente.

Trataremos en particular los métodos concernientes a la parte del espectro que se extiende del ultravioleta (220 nm) al comienzo del infrarrojo (1  $\mu$ ). Los mismos procedimientos se aplican con algunas variantes a otros casos y en especial al dominio del infrarrojo. El método se denomina absorciometría o espectrofotometría por absorción y a veces impropriamente colorimetría (el término colorimetría designa en realidad a los métodos de análisis, especificación y descripción de colores).

### 3.3 DOMINIO DE APLICACION Y VENTAJA DEL METODO

En la actualidad el perfeccionamiento de los aparatos permite conseguir a veces una precisión comparable o mejor que la de los métodos volumétricos corrientes; por esto la

### 3.4 MANUAL DEL ESPECTOMETRO PORTATIL MODELO DR/3, DREL/5

#### 3.4.1 INFORMACION GENERAL

El espectómetro DR/3, es un fotómetro diseñado para simplificar análisis colorimétricos. La escala métrica individual insertada dentro del medidor, provee lecturas directas (usualmente en mg/lt), de la sustancia que está siendo medida. Un filtro de luz para interferencias continuas o variables, conocido también como filtro cuña permite seleccionar longitudes de onda dentro de un rango de 400-700 nanómetros; un filtro adicional de 810 nm en la región infrarroja, es utilizado para medir sólidos suspendidos y silica en rango expandido. La expansión del rango electrónico facilita medidas de muy baja concentración. Para seleccionar el modo expandido la sensibilidad de los instrumentos se incrementa por un factor de 10.

Las calibraciones del rango expandido para 8 de los parámetros más utilizados para análisis de huellas, se los suministra también.

Mucho de los otros parámetros pueden ser ejecutados en el modo expandido preparando curvas especiales de calibración usando

estándares conocidos; para evitar posibles errores debido a variaciones en la celda modelo, Hach recomienda el uso de la opción, flujo directo, cuando corremos pruebas en rango expandido.

El instrumento puede ser operado en AC o con pilas, cuya potencia es proveída por cuatro pilas alcalinas tipo " D ". Un adaptador de pilas se incluye , para permitir que el espectómetro sea operado en AC cuando se desee. Este puede ser operado a 115 volt o 230 volt.

Los instrumentos conductivos que miden capacidad proveen medidas directas desde 0 a 2000 micromhos/cm en 5 rangos : 0-2; 0-20; 0-200; 0-2000; 0-20000; mediciones después de 20000 micromhos/cm, pueden ser hechas diluyendo las muestras y calculando los resultados. Se recomienda remitirse al libro " Métodos de Análisis de Agua " de Hach sobre Técnicas de dilución de muestras en adición a la escala métrica micromhos /cm; las escalas muestran la conductividad equivalente en ohms de resistencia específica, expresadas en: mg/lt de Cloruro de Sodio y gr/gal de Cloruro de Sodio.

3.4.2 ACCESORIOS  
ESPECTROMETRO

Lineabilidad Fotométrica..... $\pm 1$  % de la escala  
total(\*).

Repetibilidad Fotométrica ..... $\pm 0.5$  % de la  
escala total (\*).

Rangos .....0-100 % T o  $\infty$ -0 de  
absorbencia en  
modo normal. 90-  
100 % T o 0.0458 -  
0 de absorbencia  
e n r a n g o  
e x p a n d i d o .  
Duración de la  
Lámpara 800 Hrs.  
continuas en  
intensidad máxima,  
  
8 0 0 0 H r s .  
continuas en  
intensidad mínima.

Filtro Variable de Color.....rango espectral de  
400 a 700 nm;  
amplitud media 17  
nm o menos.  
Precisión  $\pm 3$  nm.

Filtro Fijo de Color..... Longitud de onda  
810 nm, amplitud  
media de 11.4 nm.

Medidor..... 1 1 . 4  
cm(4½") medidor de  
banda rígida,  
acepta parámetros  
e n e s c a l a  
métrica.

Temperatura de Operación .... 0-45 °C.

Humedad ..... 0-95 % r.h.

Potencia Requerida ..... Cuatro pilas  
alcalinas, tipo "D  
" o un adaptador  
de corriente.

Tiempo de Vida  
de la lámpara ..... 4 Hrs. en  
operación  
continua, 12 Hrs.  
para operación  
intermitente.

Adaptador de Corriente ..... ajustable a 115/230  
V, 50-60 Hz, 7.0  
Vdc a 400 mA.

### 3.4.3 MEDIDOR DE CONDUCTIVIDAD

|  |   |
|--|---|
| Rangos.....                                | 0-2; 0-20; 0-200;<br>0-2000; 0-20000<br>micromhos/cm de<br>conductividad, 0 -<br>100 °C de<br>temperatura.  |
| Precisión.....                             | conductividad:1.5%<br>de la escala total<br>a 25 °C para el<br>tope de los 4<br>rangos. ± 2.5 % de<br>la escala total a<br>25 °C para el más<br>bajo rango.<br>Temperatura: ± 1<br>°C de error<br>máximo. |
| División más pequeña .....<br>de la Escala | Conductividad:0.05<br>µmhos/cm para el<br>rango más bajo.<br>Temperatura: 2°C.  |
| Repetibilidad.....                         | Conductividad:±0.5<br>% de escala total.<br><br>Temperatura: ±  |

0.5% de escala  
total.

Probetas .....Electr6dos de  
T u g s t e n o ,  
resistentes a la  
corrosi3n, y no  
afectan el campo  
el6ctrico.

\* Se utiliza la escala al 100% T.

#### 3.4.4 ACCESORIOS COMPLEMENTARIOS

ESPECTOMETRO DR/3 Conductivo, catg. No.41700-05

- Libro de M6todos de An6lisis de Agua
- Adaptador de Corriente
- Cuatro pilas
- Carpeta de Escalas M6tricas
- Dos Celdas de Muestras
- Probetas Conductivas
- Desmineralizador
- Dos Vasos para An6lisis Qu6micos, de 100 ml.
- Soluci3n Standard de Cloruro de Sodio.
- Ensambladora de L6mpara de Recambio
- Celda Accu Vac y Adaptador de la Celda.

#### 3.4.5 ENSAMBLAJE DE LA CELDA DE FLUJO DIRECTO.

La celda de flujo directo es soldada en forma de

cubo y requiere ensamblarse antes de usarse, ver Fig 3.3; no utilizar la celda de flujo directo en pruebas que se utilicen solventes orgánicos como tolueno cloroformo, o ciclohexano.

### 3.4.6 OPERACION

#### DESCRIPCION DE CONTROLES

La Fig.3.4 muestra los instrumentos de control de el Espectómetro DR/3. La tabla 1 describe las funciones de cada uno.

TABLA 1  
INSTRUMENTOS DE CONTROL

| NOMBRE                   | DESCRIPCION   |
|--------------------------|---|
| Interruptor de Poder     | Da la potencia al instrumento BATT OK, se encendera cuando el interruptor este encendido, si las pilas estan cargadas o si el eliminador de baterias está siendo utilizado. |
| Dial de Longitud de Onda | Se usa para seleccionar la longitud de onda apropiada para pruebas colorimétricas, ajustable desde 1000   |

400

a 700 nm; se incluye un filtro individual de interferencia de 810nm (IR).

#### Control del Set

**de fineza correcta** Son lámparas de variada brillantez, usadas para estandarizar el instrumento antes de cada medida colorimétrica para compensar la turbidez natural y/o color en la muestra, que no es causada por la sustancia analizada. Cuando se realice mediciones en el modo EXPAND, el interruptor debe estar en esa posición cuando estandaricemos el instrumento, además asegurarse del adecuado ajuste del Set de fineza correcta.

#### Control del Set

**de grosor correcto** Usado en conjunción con el Set de Fineza Correcta para instrumentos estandarizados. Puede estar en posición de bloqueo.

#### Indicador

BATT OK

Cuando se esta operando con baterias indica la condición de las mismas; si

no se enciende o comienza a languidecer, las baterías deben ser reemplazadas. Cuando se opere en AC con el adaptador de corriente, se enciende una luz que indica que el interruptor está encendido.

**Control del Set izquierdo** Usado para ajustes al 0 % de transmisibilidad Left Set como un ajuste preliminar para medidas de colorimetría. Puede estar en posición de bloqueo.

**Interruptor de Modo** Usado para seleccionar el rango EXPAND o NORMAL para medidas colorimétricas o en condición de apagado (left set). Cuando tenemos nulidad electrónica, prioritariamente en mediciones colorimétricas.

**Interruptor del Selector DR/3** Utilizado para encender el instrumento para medidas de colorimetría o conductividad. El interruptor de poder debe estar en uno u otro modo (NORMAL o EXPAND).

**Interruptores de rangos de conduc.** Son utilizados para seleccionar el

rango de conductividad deseada. Si el rango apropiado no es conocido seleccionar el más alto rango y trabajar dentro de la escala leída.

**Interruptor de temperatura**

Usado para mediciones de temperatura. El interruptor COND debe estar presionado.

**Conector de la probeta**

Conecta la sonda o probeta conductiva al instrumento para medidas de la conductividad o la temperatura.

---

#### 3.4.7 MEDICIONES DE LA COLORIMETRIA

Las intrucciones detalladas para llevar a cabo cada una de las pruebas estan detalladas en el libro de Métodos de Análisis de Agua, suministrado con el instrumento. Sin embargo cada prueba es algo único, algunas generalidades pueden ser discutidas. Muchas pruebas colorimétricas pueden ser realizadas en tres fases básicas: preparación, instalación del espectómetro, y toma de lecturas. Los párrafos a continuación clarificaran el alcance de cada fase.

#### 3.4.8 PREPARACION DE LA MUESTRA

La primera tarea en una prueba colorimétrica, es la preparación de la muestra; si se usa la solución estandarizada se requiere un tratamiento especial, puede ser necesario ajustar el Ph si la muestra ha sido acidificada para almacenarla. Generalmente la preparación de la muestra consiste en adicionar el contenido de un reagente almohadillado en polvo premedido en 25 mL de la muestra Fig 3.5, y dar tiempo para que una reacción colorimétrica ocurra. Es importante observar un periodo especificado de espera en el proceso de la prueba particular ciertamente que el color (debido a la reacción del reagente con la sustancia medida), se desarrollará completamente. Muchos procedimientos tambien dan un limite máximo de tiempo despues que el color empieza a desvanecerse.

#### 3.4.9 INSTALACION DEL ESPECTROMETRO

Despues de calentar por 10 minutos, instale la escala métrica en el espectrómetro, seleccionando la longitud de onda,

chequeando el ajuste del Left Set, seleccionar el modo NORM o EXPAND, y estandarizar el instrumento; especificar las variables para cada prueba. Un medidor individual provee lecturas directas (usualmente en mg/Lt).

La escala es insertada a un lado del medidor Fig 3.6, con un ajuste preciso para asegurar una lectura correcta; las escalas estan hechas de un plástico durable para prevenir desgastes, borrones o rajaduras.

La longitud de onda es seleccionada por la posición del filtro de interferencia variable Fig 3.7 acorde a la escala del dial de longitud de onda. El valor conveniente de longitud de onda es obtenido en el procedimiento y en la escala del medidor especificado para esa prueba.

El ajuste Left Set se lo chequea, dirigiendo el interruptor a Left Set y verificando que la aguja este alineada con el extremo izquierdo marcado en la escala del medidor (0% T); el protector de luz debe ser cerrado. Para que la lectura se estabilice deje pasar un buen tiempo, asumiendo que necesita ajustarse. Si es necesario el ajuste abra el control Left Set y alinear la

aguja. Cierre el control y retorne el interruptor de modo a el rango deseado Fig 3.8; raramente se necesita ajustar el Left Set, pero es una buena práctica chequearlo.

El instrumento debe ser estandarizado para cada determinación, con el fin de eliminar los efectos de turbidez del color natural de la muestra. En muchas pruebas la solución estandarizada utilizada es una porción de una muestra no tratada, está es colocada en el portador de la celda Fig 3.9 con el lado enfriado de la celda dirigido hacia el operador; entonces el control Right Set se ajusta para una lectura de 0 mg/Lt al extremo derecho marcado en la escala del medidor Fig 3.10. El control Right Coarse Set (Set de Grosor Correcto), puede ser cerrado en la posición aproximada y en muchos casos, el control de fineza correcta (Right Fine Set) solo puede ser usado para estandarizar el instrumento; el interruptor de modo debe estar en el rango normal o expandido(Norm o Expand) en el cual la prueba es corrida y el protector de luz debe ser cerrado antes, haciendo el ajuste del set correcto. Si se está utilizando el rango



expandido el ajuste del set correcto debe ser hecho con el interruptor de modo en el rango EXPAND.

#### 3.4.10 TOMA DE LECTURAS

Después de observar el tiempo apropiado de espera el color de la muestra puede ser medido. La muestra preparada es colocada en el portador de la celda en lugar de la solución estandarizada y tomar la lectura, el protector de luz debe ser cerrado cuando se tome la lectura; la celda de muestra debe colocarse con su lado enfriado hacia el frente, para un mejor resultado.

### 3.5 UTILIZACION DE LA CELDA DE FLUJO DIRECTO

La celda de muestra de flujo directo es un accesorio opcional que mejora la precisión de la lectura, es particularmente ventajosa para medidas hechas en el rango expandido donde se miden concentraciones muy bajas. A causa de las características ópticas existentes para ambas estandarizaciones o cuando comparamos mediciones de diferentes muestras, cualquier error de diferencias ópticas entre muestras se elimina.

La instalación de la celda de flujo directo en el

Espectrómetro DR/3, se la efectua de la siguiente manera:

- 3.5.1 Se examina la ventana de vidrio en la celda de flujo directo, si está sucia o nublada se la limpia con un trapo suave, sin hilachas.
- 3.5.2 Insertar la celda de flujo directo dentro del portador de celda, con su ventana alineada con las ventanas del portador de la celda Fig 3.11, asegurandose que la celda este completamente insertada para prevenir cualquier filtración de luz alrededor del GASKET. la tapa del protector de luz puede ser removida pero esto no es necesario.
- 3.5.3 Ajustar la altura relativa del tubo (Stand Pipe), y el embudo para asegurar un correcto drenaje del embudo; el embudo debe drenar completamente con el nivel final del líquido en el tubo sobre los 5 cm (2"), bajo el extremo del embudo.
- 3.5.4 Verter de 25 a 50 ml de agua desmineralizada dentro del embudo y dejarlo drenar, si es necesario mover el tubo (Stand Pipe) arriba o abajo para alcanzar el nivel apropiado de líquido. Cuando el ajuste es el correcto el embudo drenará facilmente y dejara de drenar a el nivel correcto.

### 3.6 UTILIZACION DEL ADAPTADOR ACCU VAC

La nueva línea de reagentes Accu Vac pueden ser usadas con el espectómetro DR/3 con la ayuda de un adaptador y una escala métrica especialmente calibrada para los reagentes que están contenidos en sobres sellados al vacío, y son mezclados con agua sumergiendo parcialmente la ampolla y rompiéndola en un extremo para que la muestra drene. La reacción puede ser medida una vez que el adaptador está instalado en el instrumento; la correcta orientación del adaptador en el compartimiento de la celda de ensayo colocará a el Grip Tap del adaptador hacia la parte trasera del compartimiento.

### 3.7 MEDICIONES DE LA CONDUCTIVIDAD

La instalación para mediciones de conductividad es realizada conectando la probeta conductiva; se la realiza primeramente insertando la apropiada escala de conductividad, presionando el interruptor COND y seleccionando el rango apropiado. Dependiendo de la naturaleza de la muestra algunos pretratamientos pueden ser necesarios.

### 3.8 MEDICIONES DE TEMPERATURA

Las mediciones de temperaturas entre 0 y 100 °C, pueden ser realizadas usando la probeta de

conductividad del espectómetro DR/3. Para la preparación del instrumento se inserta primero la escala de temperatura, se conecta la probeta y luego se presiona el interruptor COND y el interruptor TEMP, después se sumerge el extremo de la probeta en la solución de prueba y se deja pasar aproximadamente 1½ minutos para que la probeta alcance la temperatura de equilibrio.

### 3.9 ESTANDARIZACION DEL CIRCUITO CONDUCTIVO

Una solución estandar de 1000 mg/lt de Cloruro de Sodio con 1990 microhmos/cm de conductividad es suministrada con el instrumento conductivo y la respectiva estandarización se la realiza de la siguiente manera:

- 3.9.1 Encender el instrumento y presionar el interruptor COND.
- 3.9.2 Insertar la escala microhmos/cm dentro del medidor y conectar la probeta conductiva a el panel conector, entonces presionar el interruptor de 2K de rango
- 3.9.3 Sumerja el borde de la probeta en un recipiente (beaker) que contiene la solución estandarizada de Cloruro de Sodio.
- 3.9.4 Dejar que se estabilice la lectura y verificar que esta sea 1990 ( $\pm 10$  microhmos/cm); si necesita ajustarse remueva

el panel de la caja y colocarlo sobre una esquina a los potenciómetros del circuito conductivo. Ajustar R3, 3V, P-P ADJ, para obtener la correcta lectura Fig 3.12

### 3.10 CALIBRACION DE LA TEMPERATURA

El ajuste del alcance de la temperatura puede requerir calibración, si la probeta original conductiva es reemplazada con una unidad nueva. El ajuste se realiza de la siguiente manera:

- 3.10.1 Preparar un baño caliente cercano a los 100 °C y monitorear la temperatura del baño con un termómetro.
- 3.10.2 Instale el espectómetro para medir la temperatura de la forma siguiente:
  - 3.10.2a Encienda el interruptor de poder
  - 3.10.2b Encienda el interruptor de modo a NORM
  - 3.10.2c Presione el selector COND
  - 3.10.2d Presione el interruptor TEMP
  - 3.10.2e Introduzca la escala de temperatura dentro del medidor.
  - 3.10.2f Conectar la probeta conductiva a el panel conector
- 3.10.3 Sumerja el borde de la probeta conductiva en el baño caliente y dejarlo aproximadamente

90 segs. para alcanzar el equilibrio

3.10.4      Remover el panel de instrumentos de su caja colocarlo sobre su esquina izquierda; ajustar el control TEMP SPAN (R1) al circuito conductivo para obtener una lectura métrica igual a la lectura del termómetro.

3.10.5      Reinstale el panel de instrumento en su caja

### 3.11 AJUSTE DEL RANGO DE LA SEÑAL

Cuando los rangos Normal y Expandido son señalados apropiadamente, el instrumento puede estandarizarse al 100% de transmisibilidad con los controles del Right Set, mientras este en el modo EXPAND, y retendrá la lectura si encendemos el modo NORM. Si la lectura varia más del 1.5% , necesita ajustarse, el mismo que se ejecuta de la siguiente forma:

3.11.1      Remover los dos tornillos que aseguran el panel de instrumentos a la caja.

3.11.2      Ajustar el dial de longitud de onda hacia el más bajo nivel de la escala y levantar el panel de la caja. Colocar el panel sobre su lado izquierdo.

3.11.3      Encender el instrumento y seleccionar el modo Left Set, verificar que el contador lea 0% T, si es necesario ajustar el control

Left Set.

- 3.11.4 Poner el interruptor de modo a NORM y ajustar el Right Set para una lectura de 100% T.
- 3.11.5 Poner el interruptor a EXPAND y ajustar el potenciómetro EXP ADJ R24 para obtener una lectura de 100% T Fig 3.12
- 3.11.6 Desconectar el modo NORM, la lectura debe permanecer en 100% T.
- 3.11.7 Reinstalar el panel de instrumentos a la caja.

## CONCLUSIONES

1. La utilización de equipos digitales en el Laboratorio de Petrofísica y Yacimientos representa un adelanto muy significativo para el proceso de aprendizaje de los futuros Ingenieros de Petróleos.
2. El método de determinación de la porosidad con la utilización del equipo digital es más efectivo que el método de inyección de mercurio ya que el Helio al ingresar a alta presión en la muestra invade completamente el espacio poroso obteniendose resultados más confiables.
3. La utilización del porosímetro digital evita los problemas causados en el porosímetro Ruska tales como el fracturamiento de la muestra debido a la alta densidad del Mercurio.
4. Es económicamente más rentable debido a que el Helio se lo encuentra con mayor facilidad y a menor precio en el mercado que el Mercurio, el cual además es altamente nocivo para la salud.
5. La principal ventaja del porosímetro digital es el hecho de que el núcleo conserva intactas sus características petrofísicas mientras que en el de

inyección de Mercurio queda prácticamente inservible.

6. Es muy ventajosa la utilización del plato poroso para la determinación de la Presión Capilar debido a la utilización de un gas inerte como el Helio el cual nos brinda seguridad de manejo.
7. Siendo este equipo de una alta precisión para la medición de presiones, con lo cual se obtiene curvas de Presión - Saturación de Agua con un alto grado de confiabilidad.
8. Una vez elaborada la curva P vs. Sw se determina fácilmente el punto en el cual se llega al estado de saturación irreducible de agua encontrándose que a partir de este punto la curva tiene una máxima variación en su pendiente haciéndose prácticamente asintótica al eje Y (Presión).
9. El Espectómetro DREL/5 es un instrumento cuya principal ventaja es que puede ser transportado sin mayor dificultad para realizar pruebas en el campo, donde se pueden tomar muestras de fluidos, lográndose de esta manera mayor agilidad y economía en los respectivos análisis.
10. Siendo este equipo acondicionado para obtener los

resultados a partir de una lectura directa en el mismo, se puede realizar muchos análisis en corto tiempo obteniéndose significativas ventajas del mismo.

•

## RECOMENDACIONES

1. Como hemos visto, estas propiedades petrofísicas estudiadas son de singular importancia para el conocimiento de los yacimientos, por lo tanto debe hacerse mayor énfasis en lo relacionado al manejo y mantenimiento de los equipos de laboratorio.
2. Estos análisis de laboratorio son requeridos con mucha frecuencia en la industria, en vista de lo cual la Facultad debería revisar sus estrategias de integración con la misma, buscando una apertura en las relaciones bilaterales tanto en el aspecto técnico como en el económico, para lograr así ubicar a la ESPOL en el lugar que le corresponde en el concierto nacional.
3. En vista de lo sofisticado y de la alta precisión de los instrumentos, es recomendable que los mismos sean manejados con el mayor cuidado posible, para lo cual es menester que técnicos capacitados sean entrenados con el fin de dar a dichos equipos el manejo adecuado a la vez que sirvan como tutores para los estudiantes que utilicen estos instrumentos.

F I G U R A S



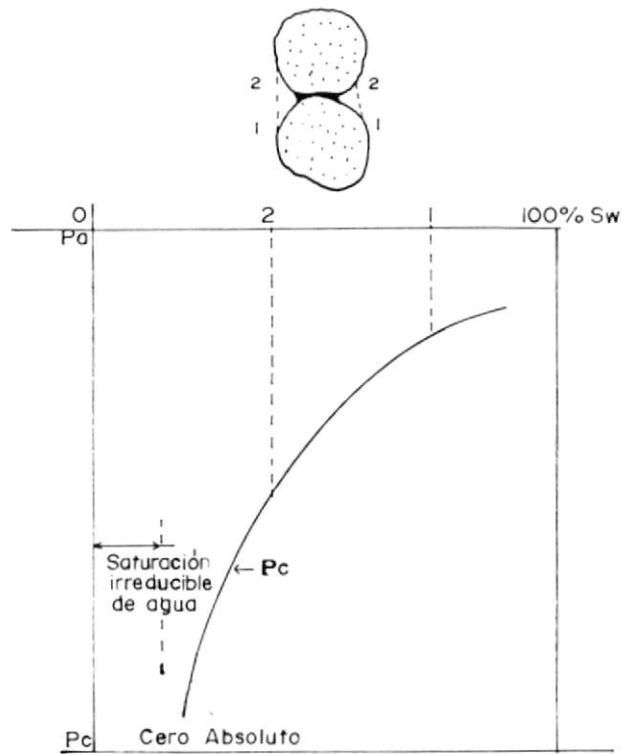


FIG. 2-1

Presión capilar en función de la saturación de fluido en una roca de acumulación.

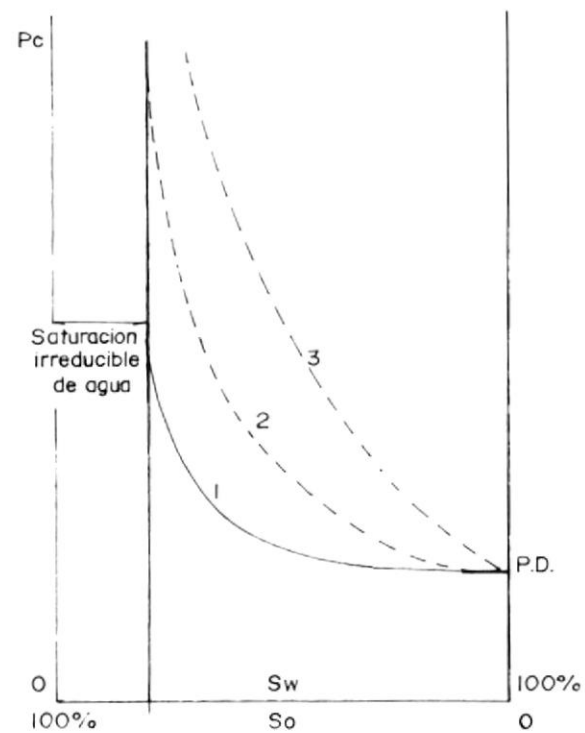


FIG. 2-2

Curvas de presión capilar para medios cuya distribución del tamaño de los poros varía entre sí

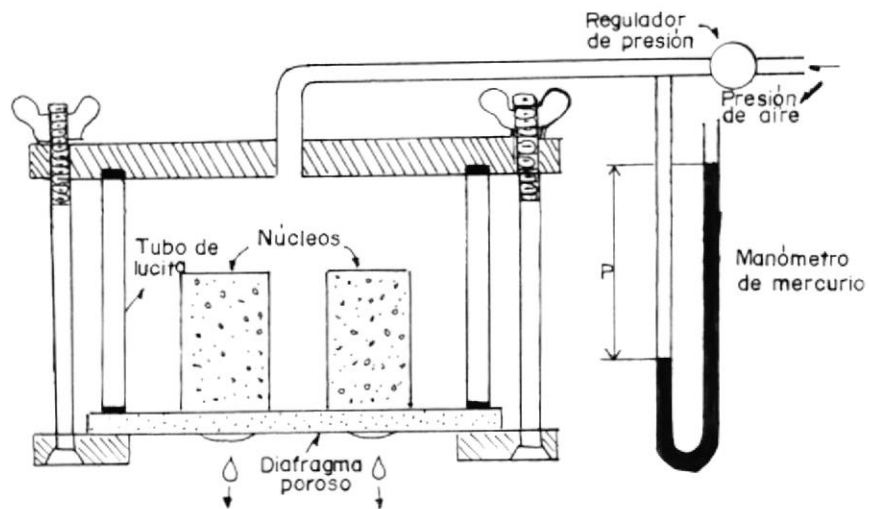


FIG. 2-3

Aparato para desaturar (desempapar) corazones, empleado para determinar la presión capilar en los corazones.

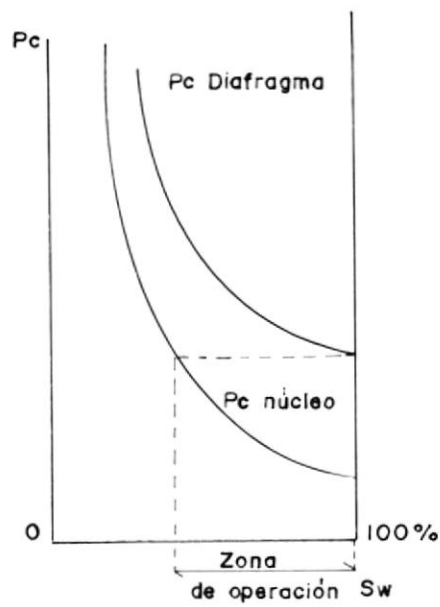


FIG. 2-3

Intervalo de operación en pruebas de presión capilar sobre un diafragma poroso.

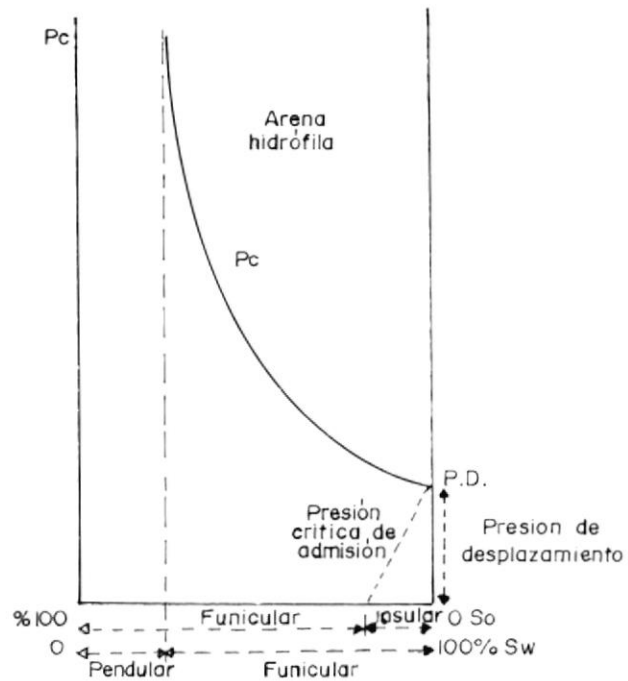


FIG. 2-5

Presión capilar en función de las etapas de saturación de fluido.

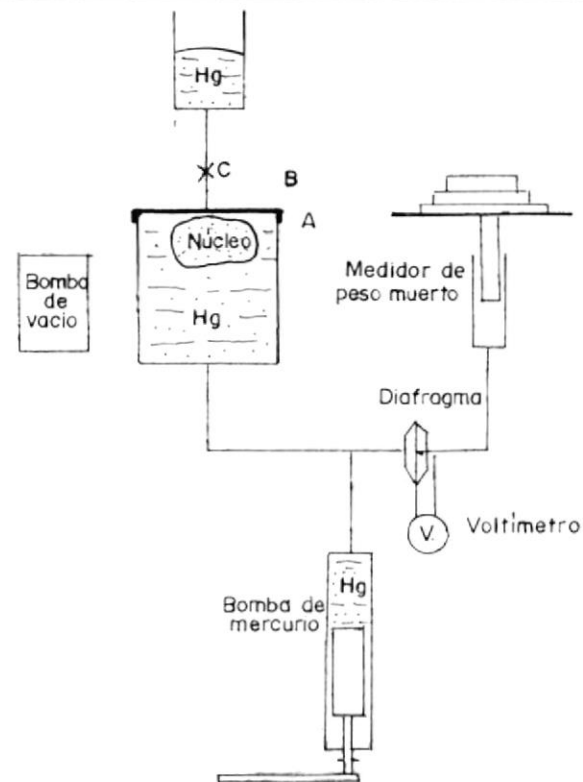
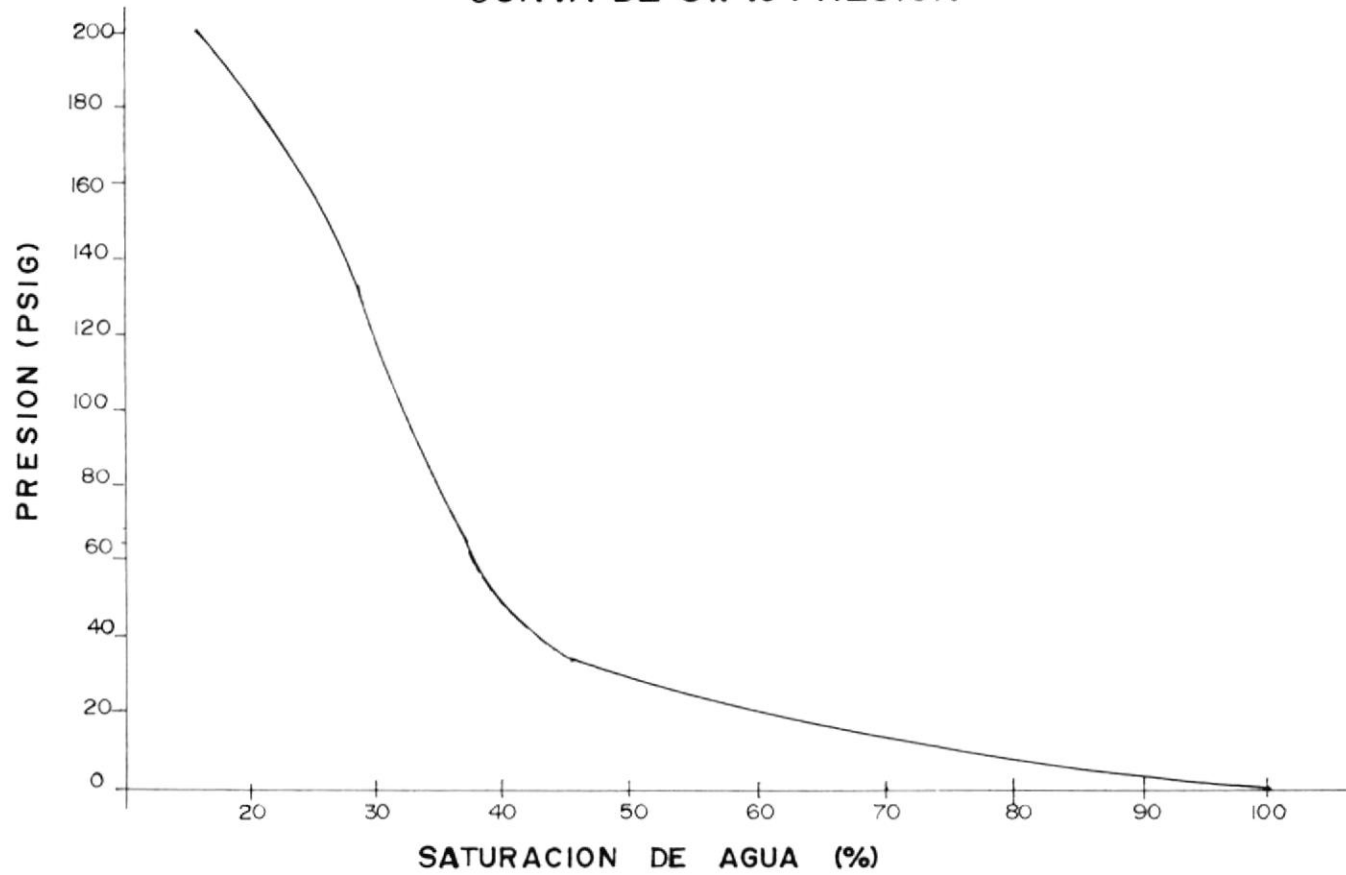


FIG. 2-6

Determinación de la presión capilar por medio del método de inyección de mercurio.

CURVA DE Sw vs PRESION



F O T O S



Foto 1



Foto 2



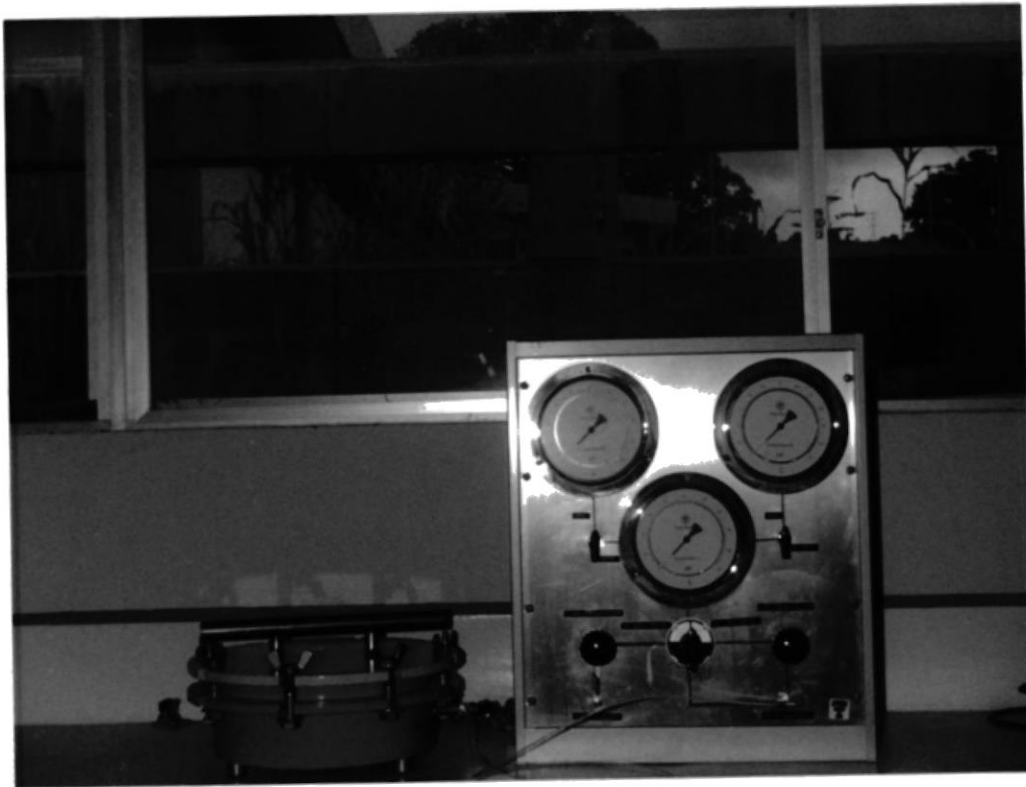


Foto 3



Foto 4



Foto 5



Foto 6



Foto 7

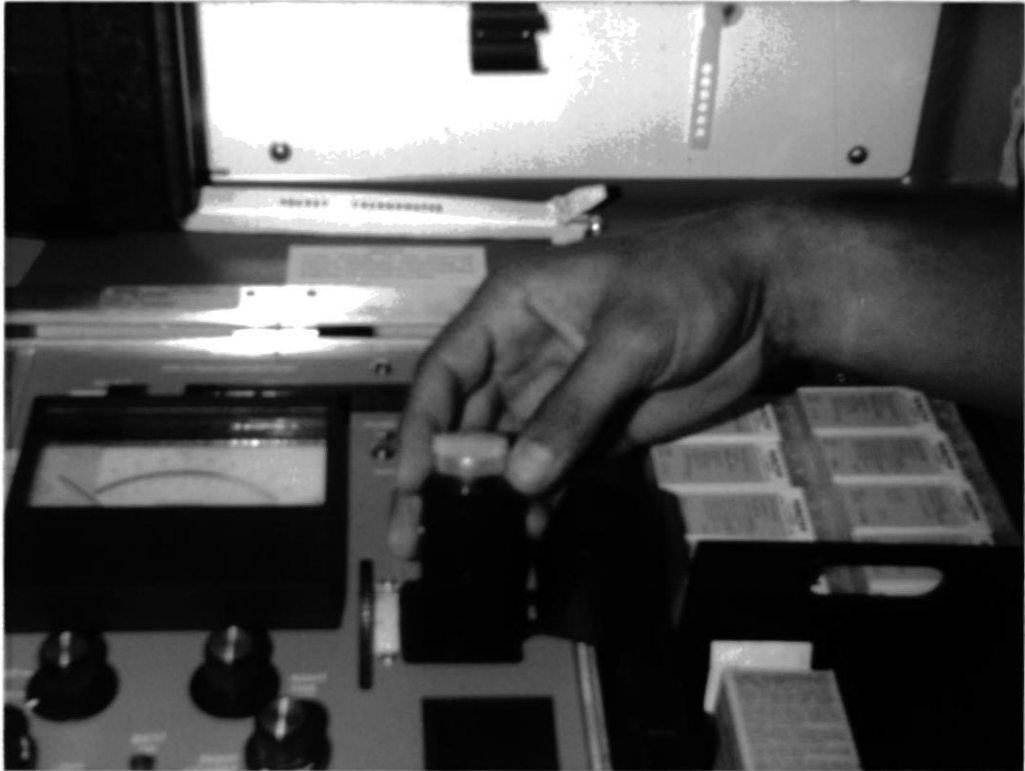


Foto 8

## BIBLIOGRAFIA

1. PIRSON, S.J. INGENIERIA DE YACIMIENTOS \*  
PETROLIFEROS: EDICIONES OMEGA S.A., 1965, p.p. 400-450
2. HACH COMPANY INSTRUMENTAL MANUAL PORTABLE  
SPECTROPHOTOMETER MODELS DR/3, DREL/5, 1985.
3. TEXAS TECH UNIVERSITY PETROLEUM ENGINEERING  
DEPARTMENT, POROSITY SOFTWARE. VERSION 1.0 ESPOL,  
1989.
4. RUSKA INSTRUMENT CORPORATION, OPERATING MANUAL GAS  
PERMEAMETERS. MODEL No. 1011-801-00, 1980.
5. RUSKA INSTRUMENT CORPORATION, OPERATING MANUAL LIQUID  
PERMEAMETERS. MODEL No. 1013, 1980.
6. ESPOL, MANUAL LABORATORIO DE YACIMIENTOS Y PETROFISICA  
(EQUIPOS Y COSTOS). 1987.
7. LONGO F., QUIMICA GENERAL, EDITORIAL MAC GRAW HILL BOOK  
COMPANY INC., 1982 p.p. 91-108.