Diseño de un Equipo para Medición de Presión Capilar

Steven Dickens Guerrero [1], Ricardo Gallegos Orta [2]

[1]Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus Politecnico "La Prosperina", casilla: 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador, S_dickens2006@yahoo.co.uk

[2]Director de Tesis, Ingeniero en Petróleos, Universidad del Zulia, 1973, Postgrado en EE.UU., University Wyoming, 1973, profesor de la ESPOL desde 1973, rgallego@espol.edu.ec

Resumen

Esta tesis estuvo dirigida diseñar y calibrar un plato poroso para la medición de presión capilar de núcleos mediante el método de la membrana semipermeable. El estudio del diseño y calibración del plato poroso se baso en un análisis de anteriores equipos de medición de presión capilar y además en una pasantía que se hizo en el Laboratorio de Petroproducción en la ciudad de Quito. La finalidad principal del diseño de este equipo, es su aplicación en el laboratorio de petrofísica de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

En su primera parte se revisan todos los conceptos teóricos relacionados con la Presión Capilar, además se mencionan los factores que afectan este parámetro y la aplicación del mismo en la Ingeniería de Petróleos en general.

Luego se explican los diferentes métodos usados en la determinación de la Presión Capilar. Tales como:

- *Método de la Centrifuga*
- *Método de la Inyección de Mercurio*
- *Método de la Membrana Semipermeable. Siendo este el método a ser mas estudiado a fondo.*

Finalmente se describen cada uno de los elementos constituyentes del equipo de medición de presión capilar diseñado y además se explica el procedimiento a seguir con el objetivo de determinar este parámetro del yacimiento. Aparte se va a realizar un análisis comparativo de resultados de la experiencia, de mediciones realizadas en el Laboratorio de Petroproducción de la ciudad de Quito.

Palabras Claves: *Presión, capilar, imbibición, drenaje, saturación, centrifuga, porosidad, permeabilidad, membrana, capilaridad.*

Abstract

This thesis was guided to design and calibrate a device to measure Capillary Pressure of rock cores. This device is also known as a Porous Plate, and it runs according to the principle of the Semi Permeable Membrane. The study, design and calibration of this device was based on similar devices used for the same purpose, and to corroborate the accuracy of its readings, the data obtained with the new device, will be compared with data obtained with a similar device located in the PetroProduccion Laboratory in the city of Quito.

In the first chapter of this thesis, all the theoretical aspects about Capillary Pressure will be revised. In the following chapter, all the different methods to measure Capillary Pressure used in Petrophysics Labs will be analyzed, such as:

- *Centrifuge method*
- *Mercury injection method*
- *Porous diaphragm method*

Finally, all the aspects of the design of the device will be analyzed, and an operation manual will be written, in which all the steps to measure Capillary Pressure in this device will be listed. The reason of this manual is that future student generations from the ESPOL College know the proper way to operate this device.

Key Words: *Pressure, capillary, imbibitions, drainage, saturation, centrifuge, porosity, permeability, membrane, capillarity.*

1. Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo principal la investigación científica de un área muy importante para la formación de los estudiantes y futuros profesionales la cual está comprendida por los Laboratorios académicos. La función de los laboratorios de las distintas unidades académicas del mundo, es complementar la parte teórica con la realidad por medio de modelos a escalas o iguales a los utilizados en la realidad para que cuando el formado estudiante o profesional tenga algún problemas por resolver en el campo laboral de su profesión tenga la capacidad para aportar con soluciones coherentes a lo que está sucediendo.

Una de las propiedades petrofísicas de gran importancia en el estudio del flujo de fluidos a través de un medio poroso en los yacimientos petrolíferos es la Presión Capilar, la cual puede definirse como la presión diferencial existente en la interfase curva entre dos fluidos.

Diferentes son los métodos que se han inventado para poder obtener la presión capilar de un núcleo, la cual si se extrapola a todo un yacimiento, nos puede dar una idea de la presión que va ha ser necesitada para la producción y estimulación del mismo. Entre los métodos de medición existentes, al que se le va a dar más énfasis es al método de la Membrana Semipermeable, ya que este método es el aplicado por el Plato Poroso.

En conclusión, el objetivo de esta tesis es diseñar un Plato Poroso para determinar un valor confiable y real de presión capilar de los núcleos de los yacimientos petrolíferos haciendo uso del método de la Membrana Semipermeable.

Adicionalmente, como ya se menciono anteriormente este equipo va a contribuir a despejar las dudas y a dejar nuevos conocimientos en los estudiantes, que antes se tenían que limitar a leer los manuales o simplemente a utilizar el equipo anterior, que no estaba en muy buen estado. Y de esta manera se estaría cumpliendo con la misión de la ESPOL construir buenas bases en estos estudiantes para que en el mañana puedan contribuir al desarrollo de la sociedad.

2. Contenido

2.1. Descripción del Equipo de Medición de Presión Capilar

Celda de Desaturación.- Es donde se van a colocar los núcleos a los cuales se les quiere determinar su respectiva curva de Presión Capilar. Este componente del equipo fue mandado a fabricar donde un tornero.

En las figura 1 y 2 se muestra el plato poroso y sus componentes principales.

Figura 1. Componentes externos del plato poroso

Figura 2. Componentes internos del plato poroso

Cabe recalcar que las membranas semipermeables fueron importadas desde Estados Unidos. Estas tienen un diámetro de 10" y un rango de funcionamiento de 0 a 200 psi; lo cual las hace ideales para el equipo diseñado.

Caja Principal.- La caja principal o panel de control consta de tres manómetros (0-30 psi, 0-100 psi y 0-200 psi) (**1**). Esto hace a este equipo mucho más exacto que si solo tuviera un solo manómetro de 0-200 psi. La presencia de dos válvulas reguladoras de presión (una con rango de funcionamiento de 0 a 40 psi y la otra de 0 a 200 psi) **(2)** en la caja principal; cada una con su respectiva entrada de gas (**3**); nos permiten un control más preciso de la presión con la que se va a trabajar. También tenemos, ubicada entre los dos reguladores, una válvula de tres vías (**4**), que se utiliza para seleccionar el regulador con el que se va a trabajar. Ubicada bajo el manómetro de 0 a 30 psi tenemos una válvula de paso (**5**), utilizada para abrir o cerrar el flujo de gas hacia este manómetro. Ubicada bajo el manómetro de 0 a 100 psi, tenemos una válvula de dos vías (**6**), utilizada para abrir el paso del gas hacia el manómetro de 100 psi, o al de 200 psi, dependiendo de la necesidad. Todos estos componentes están interconectados y ensamblados en una caja principal (**7**), como se muestra en la siguiente figura.

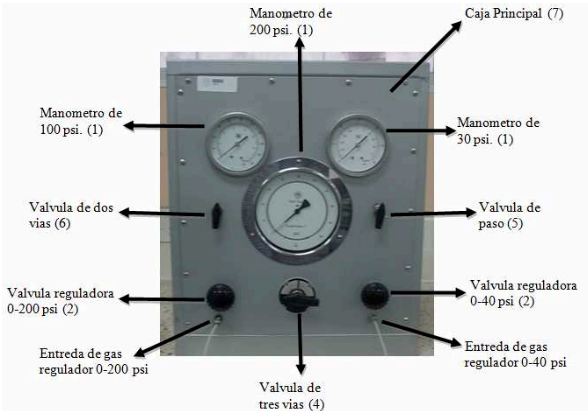

Figura 3. Caja principal. Vista frontal

En la construcción del equipo se utilizo también 16 neplos de cobre y 3 metros de capilar de plástico de 1/8"; como se puede apreciar en la figura 4. Todos estos complementos enlazan y establecen comunicación internamente entre los instrumentos del equipo. Estos deben estar bien ajustados, colocando teflón en todas las uniones para evitar posteriores fugas y datos erróneos de presión capilar.

Figura 4. Caja principal. Vista posterior

3. Resultados y comprobación de los mismos

Para efectos de comprobar la fidelidad del equipo diseñado, se decidió realizar exactamente la misma practica, con exactamente los mismos parámetros y variables; en un laboratorio donde exista el mismo equipo. Este laboratorio a utilizarse sería el de Petroproducción, ya que esta adecuadamente equipado y cuenta con todos los elementos para poder corroborar los resultados que se obtuvieron en el equipo de medición de presión capilar diseñado para efectos de esta tesis.

En la práctica realizada en el equipo de presión capilar diseñado se obtuvo los siguientes datos:

Tabla I. Resultados de la experiencia en la ESPOL

Presión (psi)	Peso (gr)	Saturación de Agua (%)
1	25.705	99.5
2	25.472	93.63
4	25.421	92.23
8	25.357	90.69
16	24.357	65.12
32	23.544	44.33
64	23.221	36.07
128	22.912	28.17
150	22.884	28.15
200	22.882	28.10

Los días 15 y 16 de octubre del 2006 año se realizo una pasantía en el Laboratorio de Yacimientos de Petroproducción localizado en la ciudad de Quito pedida por medio de un oficio dirigido al Ing. Manuel Jordán, Subgerente de Exploración y Desarrollo de Petroproducción por el Ing. Ricardo Gallegos Orta, Decano de la FICT de esta Universidad.

En la mencionada práctica se comprendió a cabalidad la operación y funcionamiento del equipo de medición de Presión Capilar y todos los pasos que se deben seguir antes de calcular este parámetro de una muestra, tal como se describió anteriormente en este capítulo.

La práctica se le realizo a una muestra tomada del Campo Petrolero de Ancón. A este núcleo se le determinó sus valores de Saturación de Agua a cada presión capilar aplicada para que posteriormente pasen a ser dato patrones o referenciales, los que permitirán realizar una calibración precisa del equipo diseñado.

Los resultados obtenidos en el Laboratorio de Yacimientos de Petroproducción se muestran en la siguiente tabla:

Tabla II. Resultados de la experiencia en Petroproduccion

Presión (psi)	Peso (gr)	Saturación de Agua (%)
1	25.55	98
2	25.376	93.45
4	25.326	92.14
8	25.265	90.55
16	24.294	65.10
32	23.497	44.20
64	23.18	35.91
128	22.882	28.10
150	22.881	28.05
200	22.879	28.01

4. Curvas de presión capilar obtenidas

Durante la práctica realizada en el equipo de presión capilar diseñado para efectos de esta tesis se obtuvo la siguiente curva:

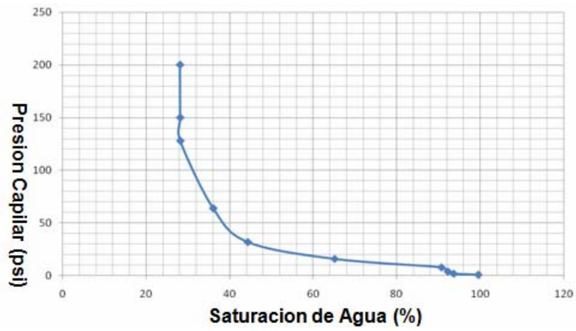

Figura 5. Curva de presión capilar obtenida en el equipo diseñado

Mediante el uso de esta curva se puede calcular la Saturacion de Agua Irreductible (SWIRR). Esto se logra observando en que punto de saturación de agua (eje de las X) la curva se vuelve asintótica con respecto al eje de las Y. De esta manera obtenemos que la SWIRR = 28%.

Mientras que en la práctica realizada en el laboratorio de Petroproducción en la ciudad de quito se obtuvo la siguiente curva:

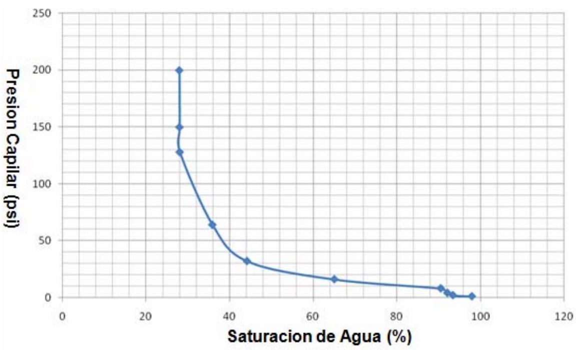

Figura 6. Curva de presión capilar obtenida en Petroproducción

Como se puede apreciar tanto en los resultados numéricos como en los gráficos, ambas practicas dan resultados muy similares, lo cual indica que el equipo de presión capilar fue diseñado y calibrado de una manera correcta y que proporciona resultados fidedignos y confiables al momento de realizar las mediciones.

5. Conclusiones

- El comportamiento capilar de una roca de depósito, según el análisis teórico realizado, muestra claramente que estos fenómenos juegan un papel importante en cada una de las etapas de vida de un yacimiento hidrocarburífero.
- Como se puede apreciar tanto en los resultados numéricos como en los gráficos obtenidos en las practicas realizadas en el equipo diseñado y en el de Petroproduccion; las dos dan resultados muy similares, lo cual indica que el equipo de presión capilar fue diseñado y calibrado de una manera correcta y que proporciona resultados fidedignos y confiables al momento de realizar las mediciones.
- Es muy ventajosa la utilización del plato poroso para la determinación de la presión capilar debido al uso de un gas inerte como el Helio, el cual nos brinda seguridad de manejo.
- Siendo este equipo de alta precisión para la medición de presiones, con lo cual se obtiene curvas de Presión vs. Saturación de Agua con un alto grado de confiabilidad.
- Una vez elaborada la curva de P vs. Sw, se determina fácilmente el punto en el cual se llega al estado de saturación irreductible de agua, encontrándose que a partir de este punto en la curva tiene una máxima variación de su pendiente haciéndose prácticamente asintótica al eje de las Y (Presión).
- El equipo de medición de Presión Capilar diseñado quedo aceptablemente calibrado, de acuerdo al análisis comparativo y pruebas que se realizaron. Dejando así esta unidad apta para una correcta enseñanza de los estudiantes que en futuro tengan que realizar la práctica de presión capilar en el Laboratorio de Petrofísica de la FICT.
- Por medio de este proyecto se logro un considerable ahorro económico, debido al altísimo costo que hubiera resultado en importar este equipo en el extranjero en vez de fabricarlo para efectos de esta tesis.
- Por medio de este proyecto se logro crear vínculos con las compañías Petroproducción, ControlAir y Parker Pneumatic.
- Se concluye que para efectos de precisión de los resultados, es mejor que el equipo diseñado tenga tres manómetros, en vez de uno, como se ve en la mayoría de equipos existentes en el mercado.
- Se concluye también que la elaboración de este equipo representa un considerable ahorro en el presupuesto de la Facultad de Ingenieria en Ciencias de la Tierra; ya que si se hubiera importado un equipo que cumpla la misma función, los costos de esta serian mayores.

6. Referencias

[1] Steven Dickens, “Diseño y Calibración de un Equipo para Medición de Presión Capilar” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2007).
[2] Pirson Sylvain, Oil Reservoir Engineering, Second Edition, Graw- Hill Book Company, 1958.
[3] Baker Hughes INTEQ, Lideres en Soluciones de Perforación, 1999.
[4] Catalogo virtual de equipos de flujo de gases, http://www.controlair.com/regulators/100reg.html #ordering.
[5] Forrest Craig, Aspectos de Ingeniería de la Inyección de Agua, Society of Petroleum Engineers of AIME, Dallas, 1982.
[6] Petroenergy, Diseño de Estimulaciones, Petroecuador Unidad de Capacitación, 2004.