

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA SIMULAR MEDICIÓN DE
PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y PRESIÓN CAPILAR EN MUESTRAS DE
ROCA DE YACIMIENTO

IGNACIO FERMIN FERNANDEZ PABA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA
2014

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA SIMULAR MEDICIÓN DE
PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y PRESIÓN CAPILAR EN MUESTRAS DE
ROCA DE YACIMIENTO

IGNACIO FERMIN FERNANDEZ PABA

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL
TÍTULO DE INGENIERO DE PETRÓLEOS

DIRECTOR
FÉLIX ARENAS RUEDA
INGENIERO DE PETRÓLEOS

CODIRECTOR
MSc. CARLOS HUMBERTO AMAYA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2014

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Director del proyecto, el Ingeniero Félix Arenas Rueda por sus sugerencias y aportes en el desarrollo de este trabajo, al Ingeniero Carlos Humberto Amaya Arévalo, quien visualizó cada paso del proyecto. A la Escuela de ingeniería de Petróleos por el aporte de sus experiencias en la construcción de nuestra UIS.

DEDICATORIA

Al Todo-Poderoso... me lo ha dado todo!

A quienes le servimos... y le serviremos por siempre!

Que Dios los Bendiga.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	14
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	15
1.1 ANTECEDENTES.....	15
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3 OBJETIVOS.....	17
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.5 METODOLOGÍA DE DESARROLLO PARA CUMPLIR EL OBJETIVO GENERAL.....	19
1.6 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA.....	20
1.6.1 Sistema de adquisición real para la medición de resistividad.....	20
1.6.1.1 Etapas principales del sistema de adquisición de datos.	20
1.6.2 Sistema de adquisición para simular la medición de resistividad.	21
1.4.4 Modelamiento de datos de índice de resistividad.....	23
2. REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS: PRESIÓN CAPILAR Y PROPIEDADES ELÉCTRICAS USANDO SOFTWARE.....	24
2.1 BASE TEÓRICA.....	26
2.2 ELEMENTOS Y EQUIPOS	29
2.2.1 Resistómetro (L.C.R.).	29
2.2.2 Funcionamiento del SR720 (L.C.R.).	30
2.2.3 Balanza Ohaus Pioneer	31
2.3 PROCEDIMIENTO	32
2.3.1 Equipos y elementos:.....	32
2.3.2 Diagrama de flujo.....	33

2.4	REALIZACIÓN DE LA PRUEBA PROPIEDADES ELÉCTRICAS:.....	35
2.5	INTRODUCIR DATOS AL SOFTWARE.....	36
3.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	38
3.1	MODELAMIENTO DEL PROCESO DE DESATURACIÓN	40
3.2	APLICACIÓN DEL MODELO DE DESATURACIÓN.....	41
3.2	TRANSMISIÓN DEL MODELO DE DESATURACIÓN VIA rs232	41
3.3	PROCESO CAPTURA: SISTEMA DE ADQUISICIÓN.....	43
4.	CONCLUSIONES	46
	RECOMENDACIONES	47
	BIBLIOGRAFÍA.....	48
	ANEXOS	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Metodología de desarrollo.....	19
Figura 2	Sistema de adquisición	20
Figura 3	Medición simulada de propiedades eléctricas:	22
Figura 4	Organización y Documentación para cada prueba	25
Figura 5	Medidor LCR SR720.	29
Figura 6	Balanza Ohaus Pioneer.	32
Figura 7	Describe el procedimiento para el análisis de las propiedades	33
Figura 8	Entrada de datos al software.....	36
Figura 9	Entrada de datos vía rs232.....	37
Figura 10.	Aplicación de consola: Modela y transmite desaturación via rs232.....	42
Figura 11	Ejemplo de datos adquiridos para Berea 191	44
Figura 12	Gráfica log(IR) vs log(Sw), datosde Berea 191	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Prueba, equipos y procedimientos.....	24
Tabla 2.	Prueba de presión capilar a 1psi:	38
Tabla 3.	Prueba de presión capilar a 3psi:	38
Tabla 4.	Prueba de presión capilar a 5psi: Duración de la Prueba: Cinco días...38	
Tabla 5.	Prueba de presión capilar a 10psi:	39
Tabla 6.	Prueba de presión capilar a 13.6psi:	39
Tabla 7.	Prueba de presión capilar a 20.0psi:	39
Tabla 8.	Prueba de presión capilar a 35psi:	39
Tabla 9.	curvas de presión capilar.....	40

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. ANEXO: SOFTWARE PARA ESTABLECER COMUNICACIÓN RS232	
.....	49

RESUMEN

TÍTULO:

“SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA SIMULAR MEDICIÓN DE PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y PRESIÓN CAPILAR EN MUESTRAS DE ROCA DE YACIMIENTO”*

AUTOR:

IGNACIO FERMIN FERNANDEZ PABA**

PALABRAS CLAVES:

Saturación, ley de Archie, presión capilar, propiedades electricas, rs232, comunicación serie

DESCRIPCIÓN

Durante la investigación de las propiedades eléctricas y presión capilar en la roca del yacimiento . El tiempo necesario para alcanzar la desaturación de equilibrio en cada presión puede ser bastante largo, debido a la permeabilidad relativa de la muestra de roca. Para conseguir ocho puntos de S_w vs R_I , en 191 muestras de Berea, se requirieron 35 días de análisis, sólo para desaturar la muestra. Esto implicó una carga adicional para el laboratorio, así como, a la disponibilidad de recursos.

El presente trabajo de grado desarrolla un software que se comunica con un medidor Icr SR 720, una balanza Ohaus adventure, para investigar las propiedades electricas y presión capilar en muestras de roca de yacimiento. El software se desarrolló utilizando lenguaje C#, bajo el entorno de desarrollo integrado “Microsoft Visual studio 2008”.

El software establece la configuración del SR720 y la balanza, almacena el resultado de las mediciones, y los grafica. Finalmente almacena los valores de la medición en un archivo de texto plano (.txt). Usando este sistema de medición se realizó una simulación, estudiando las características eléctricas de las rocas.

El software conecta dos computadores vía rs232, y sirve como primer paso para obtener la conexión con equipos de medición reales existentes en el laboratorio.

Las partes basicas de codigo en c# están consignadas en los anexos, facilitando la documentación, sin desviar la atención del lector que este realizando la prueba.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniera de Petróleos. Director. Félix Arenas Rueda Codirector. MSc. Carlos Humberto Amaya.

ABSTRACT

TITLE: "DATA ACQUISITION SYSTEM FOR CAPILLARY PRESSURE AND ELECTRIC PROPERTIES ON RESERVOIR ROCK SAMPLES "*

AUTHORS:

IGNACIO FERMIN FERNANDEZ PABA**

KEY WORDS:

Saturation, capillary pressure, Archie's law, electric properties, rs232, serial communication.

DESCRIPTION

During the investigation of electrical properties and capillary pressure in reservoir rock samples. The time required to achieve equilibrium desaturation at each pressure can be quite long due to the relative permeability of the core plug. For getting eight points of S_w vs R_I , at 191 Berea sample, it required 35 days of analysis, only to desaturate the sample. This shown an additional burden on the laboratory as to the availability of resources.

With more rock and fluid measurements being This paper develops software that connect a SR 720 Icr meter, a scale Ohaus adventure, and investigates the electrical properties and capillary pressure in reservoir rock samples. The software was developed using C# language, under the integrated development environment "Microsoft Visual Studio 2008".

The software supports the configuration of SR720 and the balance, stores the result of the measurements, and graph. Finally, stores the measured values to a text file (.txt). Using this measurement system research was conducted by simulating the sample electrical characteristics.

The software connects two computers via rs232, and serves as a first step to obtain connection to existing equipment actual laboratory measurement.

The basic parts of code in c # are contained in the annexes, providing documentation, without diverting the reader's attention to carrying out the test.

* Graduation Project

** Faculty of Physical Chemistry. School of Petroleum Engineering. Director. ARENAS Rueda Félix. Codirector. MSc. AMAYA Carlos Humberto

INTRODUCCIÓN

La Escuela de ingeniería de petróleos tiene en la sede de la UIS en Guatiguará, el laboratorio de “Análisis Petrofísicos”. Además de las pruebas petrofísicas básicas como son: la saturación de fluidos, la porosidad y la permeabilidad; el laboratorio de Análisis Petrofísicos está en la capacidad de realizar los análisis especiales a las rocas tales como la presión capilar, y las propiedades eléctricas.

Los “Análisis Petrofísicos”, permiten obtener medidas cuantificables que describen el yacimiento, y mejoran la interpretación de registros de pozos en el campo. Determinar las propiedades eléctricas del yacimiento y presiones capilares, permite conocer las saturaciones de fluidos, y estructura poral de las rocas.

Para realizar los análisis especiales, el laboratorio cuenta con un medidor LCR SR 720 y una balanza Ohaus Pioneer. El primero de ellos está diseñado para realizar mediciones precisas de impedancia en un amplio rango de frecuencias y voltaje directo. La balanza es usada para obtener el pesaje en forma continua. Actualmente estos equipos se usan en forma manual, cuya configuración y uso es mediante el panel frontal del instrumento. Las mediciones manuales son ineficientes, debido a que sus características y propiedades no se utilizan por completo. Una de las características de las unidades LCR SR 720 y de la balanza Ohaus Pioneer, es que pueden ser controladas por una computadora a través del puerto serie rs-232; pero, el fabricante no proporciona el software para hacerlo.

Este trabajo de grado propone conectar dos computadores a través del puerto serie rs-232. El primero investiga la presión capilar y propiedades electricas, recibiendo datos de saturación y resistividad provenientes del segundo computador, que simula el LCR y la balanza. Para lo cual genera y transmite datos, basados en modelos exponenciales, y pruebas en estudios anteriores.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES

El Laboratorio de Análisis Petrofísicos - Daño a la Formación, adscrito a la Escuela de Ingeniería de Petróleos de la UIS, obtuvo la acreditación de seis pruebas por parte del Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC. Para brindar sus servicios, el laboratorio cuenta con un Sistema de Gestión de Calidad, bajo los lineamientos de la Norma NTC ISO/IEC 17025:2005, la cual establece los requisitos para la competencia de los laboratorios de ensayo.

Con base en normas internacionales y la experiencia en los análisis petrofísicos, existe una metodología para el análisis e interpretación de resultados del laboratorio. Con el fin de mejorar la implementación de los procedimientos y evaluación de los resultados al realizar los análisis especiales a las rocas, tales como las propiedades eléctricas. Se ha diseñado un software en el lenguaje C#, que ayuda a hacer e interpretar el informe final para esta prueba. Éste trabajo de grado se ha desarrollado para servir como el manual de una nueva y sencilla herramienta de trabajo, y como lectura complementaria después de leer la metodología ya existente, la cual está implementada en hojas de cálculo Excel.

Para los obtener ocho puntos de Sw vs RI, en la muestra Berea 191, se requirieron 35 días de análisis, solamente para desaturar la muestra. Esto implica una carga adicional para el laboratorio en cuanto a la disponibilidad de recursos. Algunos autores sugieren que la duración de la prueba puede acortarse ajustando modelos exponenciales a los datos medidos, y simulando su comportamiento. Con el fin de hacer viable este estudio, se simulan las mediciones del LCR y la balanza.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Durante el proceso de medición de resistividad para calcular el factor de formación, índice de resistividad, y exponente de saturación, se evidencia el comportamiento “pasivo” de la matriz de roca, debido a su baja conductividad. Las pruebas de propiedades eléctricas, requieren que las muestras y el fluido estén en condiciones estables, para representar las condiciones en el yacimiento.

Una de las desventajas que presenta la prueba de presión capilar por plato poroso y propiedades eléctricas es el exceso de manipulación de las muestras, dicho exceso está sustentado en la adquisición manual de las mediciones.

El proceso de medición manual implica además de la responsabilidad humana en el manejo de la muestra, un esfuerzo cíclico de cambio de presión al que es sometida la roca, que debe ser retirada de la celda de desaturación, sometida a condiciones ambientales de temperatura y presión, para medirle sus propiedades eléctricas en ese punto de saturación, y reingresada a la celda de desaturación.

Algunos trabajos de grado realizados en el Laboratorio de Petrofísicos, incluyen en sus recomendaciones finales, cambios para las pruebas de Presión Capilar:

“Para mayor aproximación en los datos de Presión Capilar, se recomienda adaptar al equipo de Plato Poroso un Coreholder con electrodos incorporados, logrando evitar el montaje y desmontaje de los Plugs en los valores de Presión evaluados”.

“Para realizar cada una de las pruebas, se recomienda dotar el laboratorio de un computador portátil que permita hacer interface con los equipos con el fin de obtener los datos y mejorar la calidad y eficiencia de los resultados obtenidos y realizar los cálculos en tiempo real”.

1.3 OBJETIVOS

El presente trabajo se basa en el estudio, diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos que permita a los estudiantes e investigadores, un contacto directo con estas mediciones. Un computador recibe datos de saturación y resistividad, los grafica obteniendo el índice de resistividad que muestra la roca. Un segundo computador simula el LCR y la balanza, ajustando modelos exponenciales a los datos medidos, y simulando su comportamiento. Estos datos son mediciones en el laboratorio de petrofísicos, durante estudios recientes.

En su conjunto ambos computadores forman, un sistema de adquisición de datos para simular medición de propiedades eléctricas y presión capilar en muestras de roca de yacimiento, su uso no implica una carga adicional para el laboratorio en cuanto a la disponibilidad de recursos, y es un paso en la dirección correcta para no ser pasivos en la búsqueda de mejorar el manejo que se dé a las muestras.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para cumplir con el objetivo general, se proponen los siguientes objetivos específicos:

Estudio de las características de la Balanza Ohaus y del LCR SR720.

Propiedades, características y limitaciones.

Estudio del estándar IEEE rs232.

Elección del lenguaje de programación a usar.

Existen compiladores C# gratis.

Las nuevas funciones son primero adaptadas a C#, algunas no llegan a VisualBasic.NET, aunque ambos son VisualStudio.NET.

El costo de mantenimiento es bajo.

Especificaciones del programa.

Debe interactuar amigablemente con usuarios Excel.

Facilitar la ejecución de procedimientos establecidos.

Segmentación del programa.

El primer computador debe ser el sistema de adquisición.

El segundo debe simular los instrumentos y su comunicación.

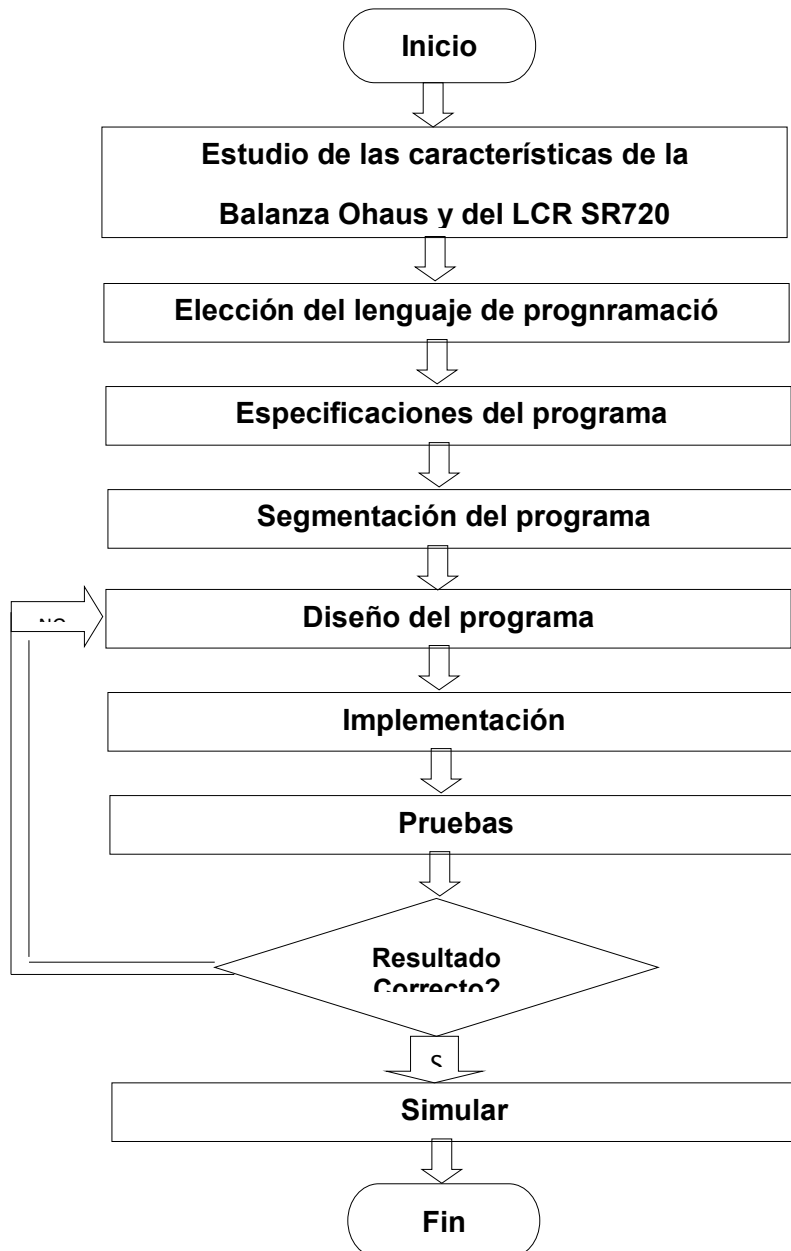
Diseño del programa.

Diseño de componentes y algoritmos de los subprogramas..

Implementación.**Pruebas.****Simular medición de propiedades eléctricas**

1.5 METODOLOGÍA DE DESARROLLO PARA CUMPLIR EL OBJETIVO GENERAL.

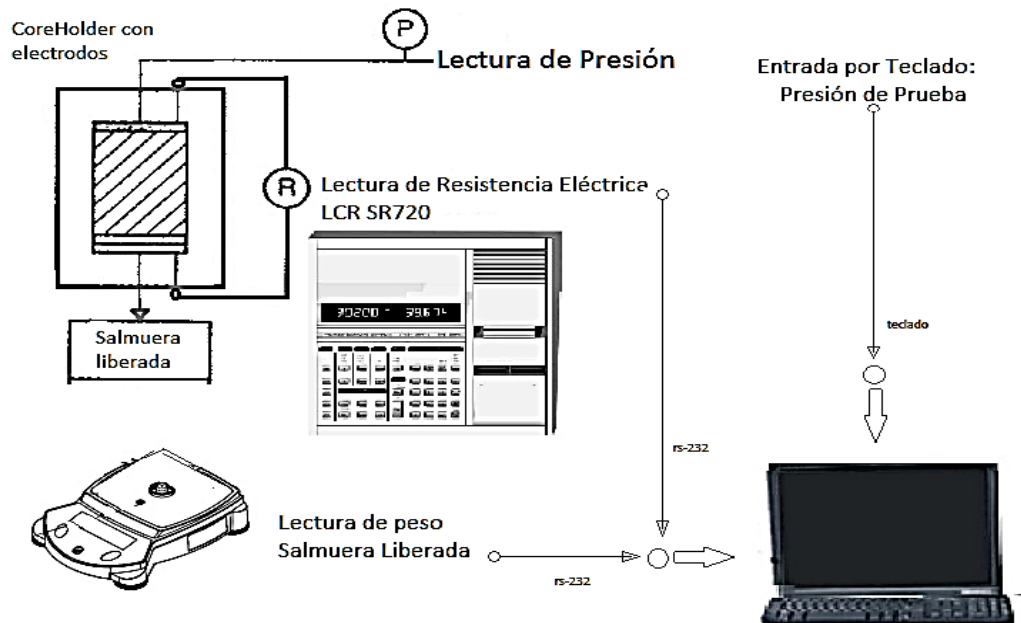
Figura 1 Metodología de desarrollo.



1.6 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

1.6.1 Sistema de adquisición real para la medición de resistividad. Un sistema de adquisición de datos real puede operar usando el equipo disponible en laboratorio: Se conectan LCR y balanza al computador, la presión de prueba se digita, y el computador guarda datos de agua liberada y resistividad provenientes del core holder con electrodos. La presión se digita, el computador procesa los datos, y grafica los resultados.

Figura 2 Sistema de adquisición



1.6.1.1 Etapas principales del sistema de adquisición de datos. Acondicionamiento de señal: Ubica el rango de voltajes de entrada al nivel útil para el micro-controlador. Esta etapa se ejecuta dentro del medidor LCR SR 720. sistema de adquisición puede operar usando el equipo disponible en laboratorio: Se conectan LCR y balanza al computador, la presión de prueba se digita, y el

computador guarda datos de agua liberada y resistividad provenientes del core holder con electrodos.

Dispositivo de adquisición de datos: El LCR SR 720 posee un micro-controlador (CHIP) con la capacidad de leer un voltaje aplicado a sus pines, y generar un código binario representativo del valor de ese voltaje. Esto es, posee un conversor Análogo/Digital (ADC), que genera un valor digital proporcional al voltaje aplicado y es almacenable en un computador. El micro-controlador del LCR hace la adquisición, y se comunica con un computador, usando un conector rs232 de 25 pines en su parte trasera, usando un cable que una al LCR con el rs232 DB-9 del computador.

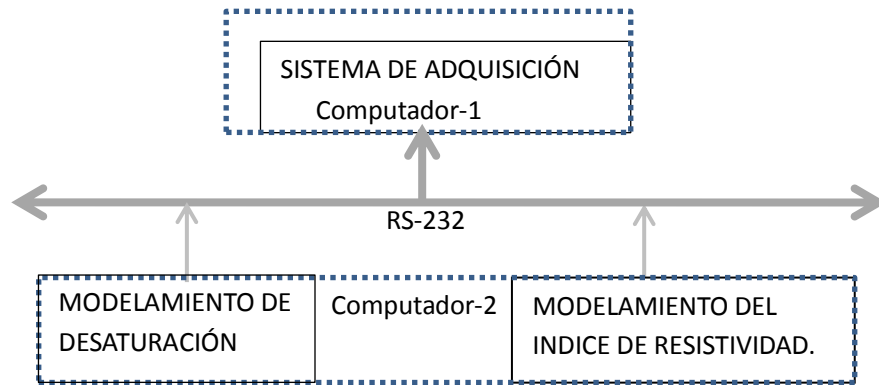
La interfaz gráfica para visualizar en el computador los datos adquiridos. La interfaz gráfica está implementada usando el lenguaje de programación c#. Para implementar un sistema de adquisición de datos que simule la medición de propiedades eléctricas y presión capilar, se deben tomar como base datos reales publicados en literatura, modelar el proceso de desaturación, modelar los datos de índice de resistividad, y conectarse vía rs-232 a la interfaz gráfica, permitiendo así, el calculo de los resultados correspondientes a la prueba de propiedades eléctricas, y proceder a almacenar los resultados en los archivos correspondientes.

1.6.2 Sistema de adquisición para simular la medición de resistividad.

Se conectan dos computadores vía rs-232, usando dos cables serie, uno simula ser la conexión al LCR, y el otro simula la conexión a la balanza.

El primer computador ejecuta la función del sistema de adquisición, el segundo simula balanza y LCR. Ver figura 4.

Figura 3 Medición simulada de propiedades eléctricas:



Modelamiento del proceso de desaturación.

En la literatura¹, se han propuesto modelos para predecir volúmenes de equilibrio (S_w). Se eligió un modelo de decaimiento exponencial para modelar el proceso de desaturación.

$$S_w = a * \exp(- b * t) + c \quad (10)$$

Donde, S_w representa la saturación de agua en la muestra de roca en cualquier momento t ; a , b , y c son constantes podrían ser halladas por el método de mínimos cuadrados no-lineal. La elección de esta ecuación no es arbitraria, términos exponenciales similares se han utilizado en la literatura como solución DERNAIKA Moustafa; OVE wilson. "Drainage capillary pressure an resistivity index from short-wait porous plate .

analítica en la descripción de los datos de producción en medios porosos, La constante c es igual a S_w cuando el tiempo t es infinito.

Modelamiento de datos de índice de resistividad.

Se eligió un modelo de decaimiento exponencial para modelar datos de índice de resistividad, debido a la relación existente entre S_w y $(1 / RI)$.

$$(1 / RI) = a * \exp(- b * t) + c \quad (11)$$

Donde, RI es el índice de resistividad medido en cualquier momento t; a, b, y c son constantes podrían ser halladas por el método de mínimos cuadrados no-lineal. La constante c es igual a $(1 / RI)$ cuando el tiempo t es infinito.

2. REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS: PRESIÓN CAPILAR Y PROPIEDADES ELÉCTRICAS USANDO SOFTWARE.

PROPIEDADES ELÉCTRICAS

Las propiedades eléctricas de una formación son llevadas a cabo en el laboratorio con el propósito de calibrar los registros eléctricos utilizados en el campo y al mismo tiempo para profundizar en el estudio de la roca contenedora de hidrocarburos. La exactitud de los registros en determinar la saturación de agua, depende en la exactitud de la medida del laboratorio al determinar el factor de formación (FF) y exponente de saturación (n).

Las propiedades eléctricas de la roca, dependen de la geometría de los poros y de los fluidos que llenan esos poros. Los fluidos de interés en los yacimientos de petróleo son el aceite, el gas y el agua. El petróleo y el gas son no conductores, pero el agua es conductora de electricidad cuando contiene sales disueltas. La corriente es conducida en agua debido al movimiento de iones y por lo tanto se le puede denominar, conducción electrolítica.

Tabla 1. Prueba, equipos y procedimientos.

PRUEBA	EQUIPOS	PROCEDIMIENTO
Propiedades Eléctricas	Resistómetro, Core-holder, Balanza.	Tomar dimensiones, saturar 100%, hallar R_o , llevar al core-holder, desaturar, tomar R_t , graficar.

Fuente: ARDILA, Maryuri; ARENAS Félix

Figura 4 Organización y Documentación para cada prueba



Fuente: ARDILA, Maryuri; ARENAS Félix

Para que este documento sirva como lectura complementaria. Se seguirá la organización que se muestra en la Figura 3.

2.1 BASE TEÓRICA

Conocer el comportamiento de mezclas de fluidos en los yacimientos de roca es esencial para la adecuada solución de ciertos problemas en la producción de petróleo. La coexistencia de dos o más fluidos inmiscibles dentro de un espacio poroso da lugar a la acción de fuerzas capilares. Por lo que los límites interfaciales entre los fluidos es una curva, y el filo de la curvatura depende del tamaño de los espacios entre los granos y las proporciones de los fluidos presentes. Las causas de esta curvatura es la tensión interfacial entre los fluidos, por tanto, la curvatura interfacial es la propiedad más significativa del sistema desde el punto de vista del comportamiento capilar. La curvatura de la superficie interfacial hace evidente una diferencia de presión a través de la interface la cual se define como “presión capilar”, si los fluidos fluyen por acción capilar las fuerzas los hacen fluir son las presiones capilares, de ahí la importancia de conocer los conceptos asociados al flujo capilar.

La magnitud de la presión capilar en un medio poroso depende de varios factores: la porosidad, permeabilidad, mojabilidad, tensión interfacial entre fluidos, saturación de fluidos, historia de cambios en saturación y de la distribución del tamaño de los poros. Otro parámetro importante a analizar es el de la mojabilidad que se define como la tendencia que tiene un fluido de adherirse y por lo tanto a dispersarse en una superficie sólida, en presencia de otro fluido inmisible¹. Existen también varios métodos experimentales para determinar la presión capilar: Método de restauración de estado, inyección de mercurio, centrífugo, membrana semipermeable, por plato poroso y dinámico en régimen permanente. Este proyecto se enfoca en las pruebas de Presión Capilar y Propiedades Eléctricas, las cuales normalmente se hacen en forma simultánea.

Podemos definir a la saturación de agua (S_w), como la relación de volumen de agua que existe en los poros y el volumen poroso total de la roca. La saturación de

agua es uno de los parámetros más importantes, pues la misma define qué cantidad de hidrocarburo encontraremos en una roca reservorio.

Archie (1942) observó que la resistividad aparente R_o de una roca completamente saturada con agua de resistividad R_w , era directamente proporcional a la resistividad del fluido (1)..

$$R_o = F R_w \quad (1)$$

Archie (1942) observó que la resistividad aparente R_o de una roca completamente saturada con agua de resistividad R_w , era directamente proporcional a la resistividad del fluido (1). La constante de proporcionalidad F es llamada factor de formación y describe el comportamiento “pasivo” de la matriz de la roca. Archie examinó la manera en que el factor de formación cambia de roca a roca y notó que la siguiente regla se mantenía, es llamada primera ley de Archie (2):.

$$F = a / \Phi^m \quad (2)$$

Dónde: m = Exponente de cementación. a = Factor empírico. Φ = Porosidad de la muestra de roca. Si combinamos la ecuación (1) y (2) obtenemos la ecuación (3).

$$R_o = R_w a \Phi^{-m} \quad (3)$$

(-) Exponente de Cementación (m): Es el factor que describe el incremento en la resistividad como resultado de la distribución de los granos y minerales en la roca, obligando a la corriente a que tome caminos especiales a través del fluido conductivo ($m=1$ para poros uniformes). (Generalmente los valores teóricos para areniscas oscilan entre 1.4 y 2.0, siendo los valores más altos para las formaciones muy consolidadas).

(-) Factor de Tortuosidad a : Este es un factor empírico que está relacionado con m y que no posee un significado físico, ha sido relacionado a la forma y tamaño del

grano, a la compactación y a la estructura del poro, es decir, a la tortuosidad. (Los valores calculados por Humble son: 0.62; 0.81; 1.0 cada uno con su correspondiente valor de m).

Archie también examinó la resistividad de areniscas parcialmente saturadas. Observó que la resistividad aparente de la roca R_t parcialmente saturada con un fluido acuoso de resistividad R_w es directamente proporcional a la resistividad de la roca cuando está totalmente saturada con el mismo fluido (4).

$$R_t = I R_o \quad (4)$$

La constante de proporcionalidad I es llamada índice de Resistividad y describe el efecto de la desaturación parcial de la roca (I varía desde 1 al infinito dependiendo del grado de saturación de la roca). Archie observó, empíricamente, que la siguiente relación existía en areniscas (5).

$$I = S_w^{-n} \quad (5)$$

Dónde: S_w = Saturación fraccional de agua en la roca. I = Índice de Resistividad.
 n = Exponente de Saturación.

El exponente de saturación (n) expresa el efecto en la resistividad, al desaturar una muestra, o reemplazar agua con un no conductor. En otras palabras n modela la dependencia de la presencia no conductor (Hidrocarburo) en el espacio poroso y está relacionado a la humectabilidad de la roca. (n usualmente toma valores entre 1.8 y 2.0). Si combinamos la ecuación (4) y (5) obtenemos la ecuación que usualmente es referida como segunda ley de Archie (6):

$$R_t = R_o S_w^{-n} \quad (6)$$

Las ecuaciones (6) y (3) pueden ser combinadas a fin de obtener una ecuación que controle todos los parámetros descritos anteriormente (7)

$$R_t = R_w a \Phi^{-m} S_w^{-n} \quad (7)$$

Las pruebas de presión capilar y propiedades eléctricas (FF e IR), normalmente se hacen en simultáneo consisten en tener inicialmente una muestra de roca completamente saturada, y someterla a un proceso de desaturación a diferentes valores de presión. Esta técnica puede alternarse tomando datos de resistividad para cada etapa de desaturación de la muestra. Se mide el peso para calcular la desaturación alcanzada, y se toma un nuevo dato de resistividad para cada etapa, antes de pasar al siguiente punto de presión capilar. Estas mediciones de resistividad son fundamentales para el cálculo del factor de formación, índice de resistividad, factor de cementación y exponente de saturación²¹.

2.2 ELEMENTOS Y EQUIPOS

2.2.1 Resistómetro (L.C.R.). El medidor LCR SR720 (figura 13): Es un instrumento multi-frecuencia para medir impedancias inductivas (L) , capacitivas (C) , o resistivas (R) .

Figura 5 Medidor LCR SR720.



Fuente: Manual del equipo

²¹ATAHUALPA, Gustavo E., "Efecto de la glauconita en las propiedades petrofísicas del reservorio arenisca" superior del bloque tarapoa". Trabajo de grado. Universidad central de ecuador. Quito, febrero ,2013.

- Rango superior a 13 ordenes de magnitud.
- Precisión del 0.05%.
- 5 frecuencias de prueba.
- Comunicación vía interfases RS232-DB25 (25 pines), y GPIB.

2.2.2 Funcionamiento del SR720 (L.C.R.). Los medidores LCR SR720 son instrumentos de medición de impedancia multifrecuencia, capaces de medir resistencia (R), capacitancia (C) o inductancia (L) en un rango de más de 13 órdenes de magnitud. El SR720 tiene una precisión básica del 0,05% y cuenta con 5 frecuencias de prueba. La Impedancia se conoce como la oposición que un elemento ofrece al paso de la corriente alterna a una determinada frecuencia, mientras que su opuesto se denomina Admitancia.

$$R_o = F R_w \quad (1)$$

$$Z= V / I \quad (8)$$

Por analogía con la ley de Ohm, la Impedancia se describe como la relación fasorial entre la tensión que se le aplica a un material o componente y la corriente resultante.

La Impedancia no es un fasor, es una cantidad compleja cuya dimensión está dada en Ohms, es una parte del dominio de la frecuencia y no un concepto que forme parte del dominio del tiempo. V e I no siempre se encuentran en fase como ocurre cuando existen elementos almacenadores de energía como los capacitores y las inductancias, por lo tanto, la Impedancia se describe mejor mediante dos parámetros: el módulo (relación entre V e I) y la fase (diferencia de fase entre V e I).

El factor de calidad Q se define como la relación entre el módulo de la reactancia y

la resistencia o lo que es igual al cociente entre la energía almacenada y la energía disipada en el material.

$$Q = X / R \quad (9)$$

Como se observa Q es inversamente proporcional a la resistencia; un valor alto indica que la disipación de energía es pequeña, por lo que el factor de calidad es un parámetro adecuado para medir la pureza de una reactancia.

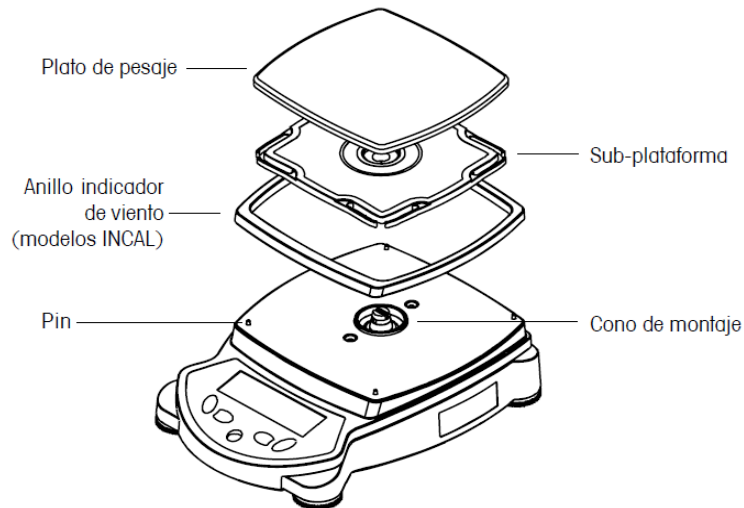
2.2.3 Balanza Ohaus Pioneer. La balanza incorpora modos de aplicación de pesaje, conteo de piezas, peso expresado en porcentaje, pesada de comprobación, y totalización. La opción predeterminada tiene el modo de pesaje activado y todos los demás modos de aplicación desactivados. Antes de usar otro modo de aplicación, este debe ser activado en el menú.

La opción predeterminada para la comunicación de resultados de pesaje es por pantalla, para transmitir datos en forma serial, debe el usuario conectarse por el puerto rs 232 a 2400 baudios, con 7 bits de datos, 2 bits de parada, y sin bit de paridad. Luego, presione la tecla "print on" de la balanza.

Es un balanza analítica. Con resolución en milésimas de gramo.

- Capacidad: 2100 g
- Desviación estándar: 0.01 g.
- Temperatura: 10°C/ 30°C
- Calibración: Digital con peso externo.
- Comunicación vía interface RS232-DB9 (9 pines)

Figura 6 Balanza Ohaus Pioneer.



Fuente: Manual del equipo

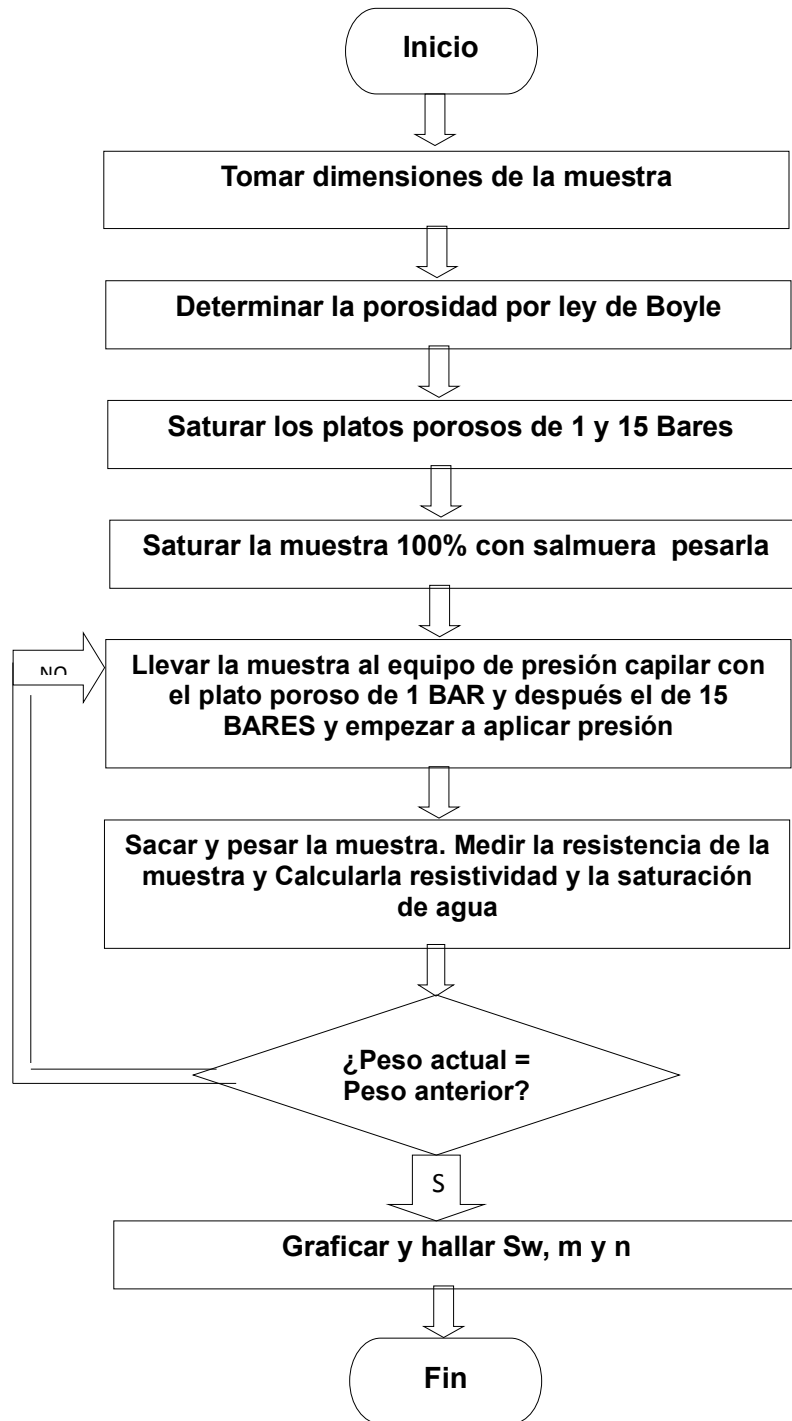
2.3 PROCEDIMIENTO

2.3.1 Equipos y elementos:

- Equipo medidor de resistividad
- Equipo de presión capilar plato poroso
- Calibrador digital
- Horno convencional y horno de humedad controlada
- Balanza analítica. Con resolución en milésimas.
- Aire comprimido
- Corazones de análisis
- Guantes desechables
- Tierra diatomácea
- Papel Kleenex
- Probeta aforada de 25 mililitros

2.3.2 Diagrama de flujo

Figura 7 Describe el procedimiento para el análisis de las propiedades eléctricas



Fuente: ARDILA, Maryuri; ARENAS Félix.

1. Utilice guantes desechables. Elija la muestra a analizar y verifique que se encuentre limpia y seca.
2. Pese la muestra seca, registre eso como W_d .
3. Determine el volumen de la muestra, para ello determine sus dimensiones por medio del caliper digital. Tome seis datos del diámetro y seis de la longitud en toda la muestra y promedie esas mediciones. Calcule el área transversal de la muestra y regístrela como A . Calcule el volumen de la muestra, regístrelo como V_t .
4. Sature la muestra 100% agua de formación filtrada o con salmuera utilizando el método de vacío o el de desplazamiento miscible. En cualquiera de los métodos asegúrese de que el líquido saturante se encuentre libre de aire. Pese la muestra y registre eso como W_s .
5. Halle el volumen poroso de la muestra restando la masa de la muestra saturada menos la muestra seca y dividiendo el resultado por la densidad de la salmuera, registre el dato como V_p .
6. Montar la muestra saturada en el equipo de medición a presión de yacimiento y temperatura ambiente.
7. Desplace salmuera a través de la muestra a razón de $1 V_p/\text{día}$, para acelerar el equilibrio iónico entre la roca y la salmuera.
8. Monitorear todos los días la resistencia de la muestra. El equilibrio iónico se alcanza cuando la medida de la resistencia se estabiliza.
9. Determine la resistividad de la muestra 100% saturada, utilizando la educación

descrita en los cálculos.

10. Empiece a desaturar la muestra preferiblemente por el método del plato poroso, siga el procedimiento de presión capilar por el plato poroso, aquí descrito.

11. Calcule el índice de resistividad IR (RI).

12. Calcule el exponente de saturación n , con base en la gráfica log-log de IR vs. S_w .

13. Calcule la resistividad de la salmuera que está saturando la muestra, R_w .

14. Calcule el Factor de resistividad de la formación, también llamada Factor de formación, FR o FF.

15. Calcule el exponente de cementación m , con base en la gráfica log-log de FF Vs. Φ de la muestra.

2.4 REALIZACIÓN DE LA PRUEBA PROPIEDADES ELÉCTRICAS: USANDO SOFTWARE.

El método más fiable que puede medir simultáneamente la presión capilar (P_c) y el índice de resistividad (RI) como una función de la saturación de agua es el método de equilibrio estándar conocido como plato poroso. Los datos de saturación se podrían ajustar a un modelo de decaimiento exponencial usando regression no lineal, obteniendo curvas precisas de presión capilar a partir de mediciones en plato poroso.

2.5 INTRODUCIR DATOS AL SOFTWARE

El software guiará al usuario, recordándole el procedimiento a seguir.

Figura 8 Entrada de datos al software

The screenshot shows the data entry interface for the Petrophysical Analysis Laboratory at the University of Santander. The interface includes the university logo and name, the laboratory name, and a series of numbered steps for data entry. Step 1 involves entering the dry weight (Wd) in grams. Step 2 involves entering six diameter (D1-D6) and six length (L1-L6) measurements in centimeters, with buttons to calculate average diameter (Dprom) and average length (Lprom). Step 3 involves entering the weight (Ws) in grams after saturating the sample to 100% vacuum. Step 4 involves entering the brine density (Ds) in g/cm³. Step 5 involves entering the vacuum pressure (Vp) in c.c., with a button labeled 'Halle Vp...'. Step 6 involves entering the pressure and desaturation rate (1 Vp/día) and the resistance (Mida R) in 100% ohm. The interface also includes buttons for 'Promediar D' and 'Promediar L', and input fields for 'Dprom', 'Lprom', 'A(cm2)', and 'Vt (c.c.)'.

Universidad Industrial de Santander
CONSTRUIMOS FUTURO

Escuela de Ingeniería de Petróleos
Laboratorio de Análisis Petrofísicos
PROPIEDADES ELÉCTRICAS

1. Pese la muestra seca, registre eso como Wd. Wd (gr) :

2. Tome seis datos de diámetro y seis de longitud .Promediar D. Promediar L.

D1 (cm) L1 (cm)
D2 (cm) L2 (cm)
D3 (cm) L3 (cm)
D4 (cm) L4 (cm)
D5 (cm) L5 (cm)
D6 (cm) L6 (cm)

Dprom : Lprom :
A(cm2) Vt (c.c.):

3. . Sature al vacío 100% . Pese, registre como Ws. Ws (gr) :

4. . Registre densidad de Salmuera Ds. Ds (gr/c.c.) :

5. . Halle Vp... Vp (c.c.) :

6. . A Presión-y Desp. salmuera(1 Vp/día).Mida R 100%(ohm):

Hasta el punto 6 (ver figura), tiene tres botones que activar, y que se deben pulsar, solo si se han llenado las entradas de datos anteriores.

Del punto 7 en adelante desature, siga el procedimiento de plato poroso, por cada presión a evaluar, haga el montaje correspondiente, anote la presión $P(i)$, y oprima el botón a la izquierda de ese valor (\rightarrow), el sistema empezara a adquirir datos de S_w y IR. Cuando alcance la saturación de equilibrio, presione el botón a la derecha ($|$). Cuando crea que los datos adquiridos son correctos, presione el botón Guardar Datos, luego el botón Graficar $\log(IR)$ vs $\log(S_w)$.

Figura 9 Entrada de datos vía rs232

De saturación de la muestra por plato poroso

	$P(i)$	$Sw(i)$	$RI(i)$	
-->	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	[-]
-->	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	[-]
-->	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	[-]
-->	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	[-]
-->	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	[-]
-->	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	[-]
-->	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	[-]
-->	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	[-]
-->	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	[-]
-->	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	[-]
-->	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	[-]
-->	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	[-]

Guardar Datos

Graficar $\log(IR)$ vs $\log(Sw)$

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para mostrar un ejemplo, se toman los datos reales³ obtenidos en el laboratorio para Berea 191. Propiedades Petrofísicas Básicas: Se contó con el apoyo del laboratorio de Básicos del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) para la determinación de los parámetros Petrofísicos Básicos como parte del convenio interlaboratorios UIS-ICP.

Tabla 2. Prueba de presión capilar a 1psi: Duración de la Prueba: Cuatro días.

Muestra	Profundidad	% saturación	Rt
Bérea 191	3640,5	96,025	102,772

Fuente: MENDEZ, Carlos; GÓMEZ José. Félix

Tabla 3. Prueba de presión capilar a 3psi: Duración de la Prueba: Cuatro días.

Muestra	% saturación	Rt
Bérea 191	64,82	179,584

Fuente: MENDEZ, Carlos; GÓMEZ José.

Tabla 4. Prueba de presión capilar a 5psi: Duración de la Prueba: Cinco días.

Muestra	% saturación	Rt
Bérea 191	35,024	439,346

Fuente: MENDEZ, Carlos; GÓMEZ José.

Tabla 5. Prueba de presión capilar a 10psi: Duración de la Prueba: Cinco días.

Muestra	% saturación	Rt
Bérea 191	27,195	578,133

Fuente: MENDEZ, Carlos; GÓMEZ José.

Tabla 6. Prueba de presión capilar a 13.6psi: Duración de la Prueba: Cinco días.

Muestra	% saturación	Rt
Bérea 191	25,505	751,910

Fuente: MENDEZ, Carlos; GÓMEZ José.

Tabla 7. Prueba de presión capilar a 20.0psi: Duración de la Prueba: Seis días.

Muestra	% saturación	Rt
Bérea 191	22,82	758,34

Fuente: MENDEZ, Carlos; GÓMEZ José.

Tabla 8. Prueba de presión capilar a 35psi: Duración de la Prueba: Seis días.

Muestra	% saturación	Rt
Bérea 191	17,34	1301,88

Fuente: MENDEZ, Carlos; GÓMEZ José.

A continuación se muestra gráficamente los datos obtenidos en curvas de presión capilar (PC en función de SW):

Tabla 9. curvas de presión capilar (PC en función de SW):



Fuente: MENDEZ, Carlos; GÓMEZ José.

3.1 MODELAMIENTO DEL PROCESO DE DESATURACIÓN

Se eligió un modelo de decaimiento exponencial para modelar el proceso de desaturación.

$$S_w = a * \exp(- b * t) + c \quad (10)$$

Donde, S_w representa la saturación de agua en la muestra de roca en cualquier momento t ; a , b , y c son constantes podrían ser halladas por el método de mínimos cuadrados no-lineal. La elección de esta ecuación no es arbitraria, términos exponenciales similares se han utilizado en la literatura como solución analítica en la descripción de los datos de producción en medios porosos, La constante c es igual a S_w cuando el tiempo t es infinito. La constante a es la diferencia entre S_w medida cuando t es cero y c . La constante b se puede estimar tomando la duración de la prueba como 5 veces el valor de τ .

3.2 APLICACIÓN DEL MODELO DE DESATURACIÓN.

Para aplicar el modelo para Berea 191, debemos estimar los valores de las constantes **a**, **b**, y **c**. Una forma de hacerlo es usando Excel.

Se genera $S_w(t)$: $S_w = (S_{wi} - S_{weq}) \exp(-t / t_c) + S_{weq}$

Para Berea 191,

La constante **a** 1psi:

$$a = 1 - 0,96025 = 0,03975.$$

La constante **b** es el inverso de $\tau(t_c)$ 1psi:

$$t_c(\text{Ticks: unidades de tiempo real de c\#}) = F7 * 24 * 3600 / 5 * 10000000.$$

$$t_c(\text{seg}) = F7 * 24 * 3600 / 5.$$

La constante **c** 1psi:

$$c = 0,96025.$$

3.2 TRANSMISIÓN DEL MODELO DE DESATURACIÓN VIA rs232.

Estos datos de saturación se generan en tiempo real, y se estiman usando el tiempo real del computador medido en Ticks (Ticks: unidades de tiempo real de c#), el sistema de adquisición los captura, y el usuario determina, cuando se alcanza la condición de equilibrio, parando el proceso, y procediendo a medir otro punto de presión, o guardar datos y graficar. Para Berea 191, la recolección de datos tomó 35 días, solamente para desaturar la muestra. Esto implica una carga adicional para el laboratorio en cuanto a la disponibilidad de recursos. Esta aplicación de consola modela y transmite desaturación via rs232, para simular el LCR es un proceso muy parecido.

Figura 10. Aplicación de consola: Modela y transmite desaturación via rs232.

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.IO.Ports;
namespace ConsoleApplication1
{
    class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            Double Sw;
            Double Sw1;
            Double Sw2;
            string c ;
            string saltos;
            Sw=1;
            DateTime startpoint = DateTime.Now;
            long ftime = DateTime.Now.Ticks;
            long atime;      long rtime;
            SerialPort port = new SerialPort("COM7", 9600, Parity.None, 8,
StopBits.One);
            port.Open();
            char salto = '\n';
            atime = DateTime.Now.Ticks;
            rtime = atime - ftime;
            Sw1 = 1;
            while ((rtime < 700000000))
```


Figura 11 Ejemplo de datos adquiridos para Berea 191

7. Desaturar la por plato poroso...

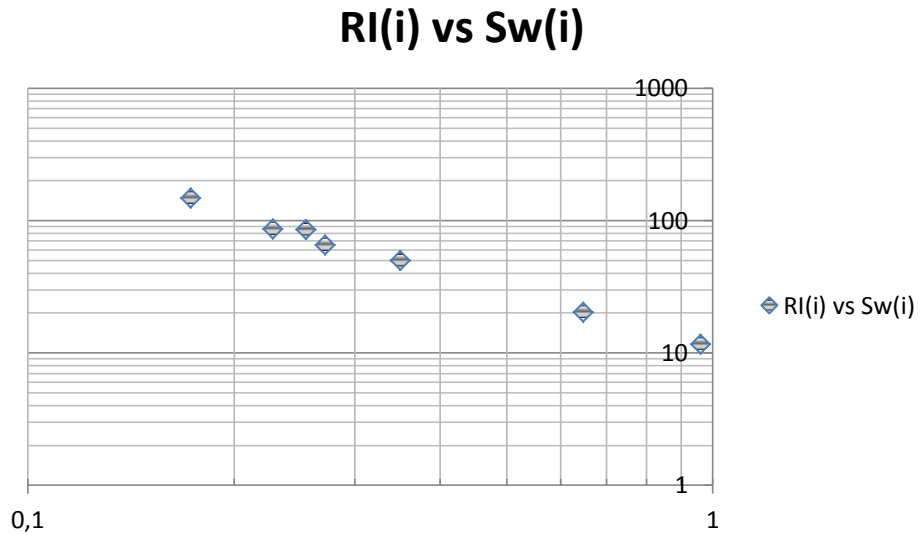
	$P(i)$	$Sw(i)$	$RI(i)$	
-->	1	0.960	11.64	
-->	3	0.648	20.34	
-->	5	0.350	49.76	
-->	10	0.271	65.48	
-->	13.6	0.255	85.17	
-->	20	0.228	85.90	
-->	35	0.173	147.47	
-->				
-->				
-->				
-->				
-->				

Guardar Datos

Graficar $\log(IR)$ vs $\log(Sw)$

Al pulsar "Guardar Datos", estos son almacenados por c# en los archivos ".txt" correspondientes a cada presión de prueba. Al pulsar "Graficar $\log(IR)$ vs $\log(Sw)$ ", los datos son guardados en una hoja excel, que realiza una gráfica muy simple. Son pocos los datos y se pueden exportar uno a uno usando código c#.

Figura 12 Gráfica log(IR) vs log(Sw), datos de Berea 191



Existen trabajos de grado, dedicados a la interpretación de estos resultados, los alcances de este proyecto, están más orientados a la toma de datos en laboratorio

Excel ofrece herramientas para ajustar gráficas a las curvas, pero esto requiere un estudio cuidadoso, algunos autores obligan una recta a pasar por el punto (1,1), y a ajustarse por mínimos cuadrados al resto de los puntos. Otros autores dan como más confiables los datos de saturación, que los de resistividad, se ajustan a las saturaciones, con mayor libertad con respecto a las resistividades.

4. CONCLUSIONES

El software conecta dos computadores vía rs232, y sirve como primer paso para obtener la conexión con equipos de medición reales existentes en el laboratorio.

Las partes basicas de codigo en `c#` están consignadas en los anexos, facilitando la documentación, sin desviar la atención del lector que este realizando la prueba.

RECOMENDACIONES

Este software se propone como complemento a las herramientas ya existentes, para que estudiantes o personas ajenas al laboratorio puedan familiarizarse con la prueba de propiedades eléctricas y presión capilar, disminuyendo los riesgos que esto implica.

Para conectar equipos usando `c#`, se recomienda adquirir equipos de medición LCR, con marcas reconocidas que proveen a sus usuarios librerías descargables en internet, con el fin de facilitar el control de los equipos, programando en `c#`.

BIBLIOGRAFÍA

ATAHUALPA, Gustavo E., "Efecto de la glauconita en las propiedades petrofísicas del reservorio arenisca" superior del bloque tarapoa". Trabajo de grado. Universidad central de ecuador. Quito, febrero ,2013.

ARDILA, Maryuri; ARENAS Félix. "Metodología para el análisis e interpretación de resultados del laboratorio de análisis petrofísicos de la escuela de ingeniería de petróleos" Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias Fisicoquímicas. , 2010.

DERNAIKA Moustafa; OVE wilson. "Drainage capillary pressure an resistivity index from short-wait porous plate experiments" International symposium of society of core analyst. Halifax , Nova Scotia, October 2010.

MENDEZ, Carlos; GÓMEZ José. "Determinación de propiedades eléctricas y presión capilar por plato poroso en muestras de corazones del campo colorado, formación mugrosa" Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias Fisicoquímicas, 2010.

ANEXOS

ANEXO A. ANEXO: SOFTWARE PARA ESTABLECER COMUNICACIÓN RS232

Universidad Industrial de Santander
CONSTRUIMOS FUTURO

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Análisis Petrofísicos

Puerto: Seleccione Puerto

Velocidad: 19200

Bit Paridad: None

ASCII (7/8) bits: 7

Nro bits Parada: 1

Configurar

Figura 14. Módulo para establecer comunicación rs232. ^{AUTOR}

Para conectar equipos vía rs232 usando c#, se recomienda usar modulos flexibles, que permitan adaptarse, a las condiciones de comunicación de cada equipo. Este en particular recibe datos, y solo almacena los numéricos en un archivo "d:/b.txt", mientras va almacenando el tiempo de prueba en un archivo "d:/t.txt".

```
private void btnConfigurar_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Parity Paridad = Parity.None;
    StopBits BitsParada = StopBits.One;
    int numBits = 8;
```

```

if (cmbParidad.Text == "Even")
    Paridad = Parity.Even;
elseif (cmbParidad.Text == "Mark")
    Paridad = Parity.Mark;
elseif (cmbParidad.Text == "Odd")
    Paridad = Parity.Odd;
elseif (cmbParidad.Text == "Space")
    Paridad = Parity.Space;
else
    Paridad = Parity.None;
if ( cmbNbit.Text == "7")
    numBits = 7;
elseif (cmbNbit.Text == "8")
    numBits = 8;
if (cmbParada.Text == "1")
    BitsParada = StopBits.One;
elseif (cmbParada.Text == "1")
    BitsParada = StopBits.Two;

}

private void btnAbrir_Click(object sender, EventArgs e)
{
    DateTime startpoint = DateTime.Now;
    long ftime= DateTime.Now.Ticks ;
    long atime;
    long rtime;

```

```

Parity Paridad = Parity.None;
StopBits BitsParada = StopBits.One;
int numBits = 8;
SerialPort port = new SerialPort(cmbPuerto.Text,
Convert.ToInt32(cmbBaudios.Text), Paridad, numBits, BitsParada);
byte datos;
string cadena= " ";
string runt = " ";
byte saltos;
bool cifra = false;
int datoI;
char Caracter = 'a';
char salto = '\n';
int contador;
port.Open();
    contador = 0;

atime = DateTime.Now.Ticks;
    rtime = atime - ftime;
while ((rtime <500) || (cifra == true))
{
    datoI = port.ReadByte();
Caracter = Convert.ToChar(datoI);
datos = Convert.ToByte(Caracter);
atime = DateTime.Now.Ticks;
    rtime = atime - ftime;
Int64 rtint;

FileStream GS = new FileStream("d:/b.txt", FileMode.Append, FileAccess.Write);

```

```

FileStream HS = newFileStream("d:/t.txt", FileMode.Append, FileAccess.Write);
if (datos == '0')
    {
        GS.WriteByte(datos);
        GS.Close();
if (cifra != true) cifra = true ;else cadena = cadena + Convert.ToString (Caracter);
GS.Close();
    }
elseif (datos == '1')
{
        GS.WriteByte(datos);
if (cifra != true) cifra = true; else cadena = cadena + Convert.ToString(Caracter);
GS.Close();
    }
elseif (datos == '2')
{
        GS.WriteByte(datos);

if (cifra != true) cifra = true; else cadena = cadena + Convert.ToString(Caracter);
GS.Close();
    }
elseif (datos == '3')
{
GS.WriteByte(datos);

if (cifra != true) cifra = true; else cadena = cadena + Convert.ToString(Caracter);
GS.Close();
    }
elseif (datos == '4')
{

```

```

        GS.WriteByte(datos);

if (cifra != true) cifra = true; else cadena = cadena + Convert.ToString(Character);
GS.Close();
    }
elseif (datos == '5')
{
        GS.WriteByte(datos);

if (cifra != true) cifra = true; else cadena = cadena + Convert.ToString(Character);
GS.Close();
    }
elseif (datos == '6')
{
        GS.WriteByte(datos);

if (cifra != true) cifra = true; else cadena = cadena + Convert.ToString(Character);
GS.Close();
    }
elseif (datos == '7')
{
        GS.WriteByte(datos);

if (cifra != true) cifra = true; else cadena = cadena + Convert.ToString(Character);
GS.Close();
    }
elseif (datos == '8')
{
        GS.WriteByte(datos);

```

```

if (cifra != true) cifra = true; else cadena = cadena + Convert.ToString(Character);
GS.Close();
    }
elseif (datos == '9')
{
    GS.WriteByte(datos);

if (cifra != true) cifra = true; else cadena = cadena + Convert.ToString(Character);
GS.Close();
    }
elseif (datos == ',')
{
    GS.WriteByte(datos);

if (cifra != true) cifra = true; else cadena = cadena + Convert.ToString(Character);
GS.Close();
    }
elseif (datos == '.')
{
    GS.WriteByte(datos);

if (cifra != true) cifra = true; else cadena = cadena + Convert.ToString(Character);
GS.Close();
    }
elseif (cifra == true)
{
    saltos = Convert.ToByte(salto);

```

```

        GS.WriteByte(saltos);
        txtCadRecibida.Text = cadena ;
        cadena = " ";
        cifra = false;
    GS.Close();

        atime = DateTime.Now.Ticks;
        rtime = atime - ftime;
        string rtstr = Convert.ToString (rtime);
        char[] buffer = rtstr.ToCharArray() ;
        foreach (char digito in buffer )
        {
            byte btime = Convert.ToByte(digito);

                HS.WriteByte(btime);

        }

        HS.WriteByte(saltos);
        HS.Close();
    }

        GS.Close();
        HS.Close();

    }

    port.Close();

```