

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“REHABILITACIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN DE PRESIÓN
CAPILAR”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETRÓLEOS

PRESENTADA POR:

BRYAN DAVID AVILÉS ARROYO

HENRY FLAVIO ARIADEL COBO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTO

Escribo estas líneas para agradecer a aquellas personas que me han apoyado en aquellas etapas vividas; sin ellos no habría podido culminar esta época universitaria; agradezco a mi padre Abg. Flavio Ariadel Zambrano, quien con su esfuerzo me brindó educación y cariño y ha sido mi amigo toda mi vida; así mismo, agradezco a mi mamá, Zoila Cobo Nieto, ella fue y es la luz en mi camino, me guía en todas mis decisiones; así mismo agradezco a mi tutor, el Ing. Fidel Chuchuca, con quien iniciamos este proyecto, culminándolo de manera satisfactoria.

HENRY

AGRADECIMIENTO

Me lleno de regocijo al escribir estas palabras, agradeciendo a mi familia, los cuales estuvieron en cada paso que fui dando en el camino, en especial a mi padre (+) Mons. Juan Avilés Freire, quien fue mi guía durante toda mi vida, quien supo guiarme con sabiduría, y cariño, a mi mamá Elizabeth Arroyo Albán, quien siempre me dio el apoyo que necesite y su amor incondicional, parte importante en mí, a mis hermanos, quienes son importantes en día a día, Eco. Juan Avilés y Dra. Marietta Avilés, a mi esposa quien jamás dejó de confiar en mí, y por último a mi hija.

BRYAN

DEDICATORIA

Este logro debo dedicarlo a todos aquellos que han estado presentes en vida; sin embargo, dedico esta meta a mi FAMILIA, quienes han sido mi soporte y me han dado el impulso necesario para culminar este proyecto; dedico también esta meta a mis profesores, quienes han compartido su conocimiento, los cuales pondré en práctica durante mi vida profesional, poniendo en alto siempre mi Alma Mater.

HENRY

DEDICATORIA

Este logro es dedicado a toda mi FAMILIA, quienes han seguido paso a paso mi camino, en especial al Ing. Fidel Vladimir Chuchuca, quien con su gran conocimiento supo guiarme en la culminación de este proyecto integrador, agradezco al Ing. Gerardo Rezavala quien marco mi profesión y mi pasión a la misma, también al Ing. Iván Guzmán quien fue nos guio en las pruebas de laboratorio y armado del equipo.

BRYAN

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

.....
Msc. Rommel Erazo

PROFESOR EVALUADOR

.....
Msc. Fidel Chuchuca

DIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOl realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....
Henry Ariadel Cobo

.....
Bryan Avilés Arroyo

RESUMEN

El equipo de presión capilar es utilizado en los laboratorios de petróleos, para determinar la coexistencia de dos fluidos dentro de un medio poroso, donde se ponen de manifiesto los fenómenos derivados de la existencia de las tensiones superficiales y ángulos de contacto entre la fase de estos fluidos y el medio poroso.

He ahí la importancia de la rehabilitación del equipo que forma parte del Laboratorio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT) de ESPO., ya que se encuentra fuera de servicio, por la falta de mantenimiento.

Para la ejecución del proyecto, se procedió a desarmar los componentes que forman parte del equipo; como la celda de saturación y la caja principal, para esto se calibro los manómetros, se cambiaron los diafragmas, las válvulas y las mangueras de alta presión, con estos cambios se pudo lograr la rehabilitación del **Equipo de Presión Capilar**, el mismo que queda en perfectas condiciones para operar.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
SIMBOLOGÍA	XI
ABREVIATURAS.....	XII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO 1	3
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	3
1.1. Planteamiento del problema:.....	3
1.2. Justificación del Proyecto	4
1.3. Metodología.....	5
1.4. Objetivo General.	5
1.5. Objetivos específicos.....	6
1.6. Marco Teórico	6
1.6.1. Conceptos básicos sobre las curvas de presión capilar	6
1.6.2. Capilaridad.....	7
1.6.3. Presión Capilar	7
1.6.4. Medios Heterogéneos	12
1.6.5. Curvas de Presión Capilar	13
1.6.6. Los Sellos Capilares y las Capas Semi-Permeables.....	15
1.6.7. El "Sello" Capilar	15
1.6.8. Las Membranas Semi-Permeables.....	17

CAPÍTULO 2	22
2.MÉTODO PARA DETERMINAR LA PRESIÓN CAPILAR Y PROCEDIMIENTO DE REHABILITACIÓN DEL EQUIPO DE LA FICT.	22
2.1. Método de la Membrana Semi-Permeable	22
2.1.1. Ventajas:	24
2.1.2. Desventajas:	24
2.2. Procedimiento	25
2.3. DISEÑO Y CALIBRACION DEL EQUIPO.....	28
2.4. Principio de Funcionamiento	29
2.5. Parte del Equipo	30
2.5.1. Celda de Desaturación	30
2.5.2. Caja Principal	34
2.5.3. Manómetro Bourdon.....	37
2.5.4. Regulador de Presión	39
CAPITULO 3	46
3.1. PRUEBA DE LABORATORIO Y RESULTADOS.....	46
3.1.1. Limpieza de núcleos y la importancia.....	46
3.1.2. Proceso para la limpieza de núcleos.	47
3.1.3. Secado de núcleos	48
3.1.4. Saturación de núcleos.....	50
3.1.5. Prueba de presión capilar	53
CAPITULO 4	63
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
4.1. CONCLUSIONES.....	63
4.2. RECOMENDACIONES	65
ANEXOS	
BIBLIOGRAFÍA	

SIMBOLOGÍA

Swo	Tensión Superficial
Qwo	Ángulo de contacto de la interfase líquida con la superficie del sólido
R	Radio capilar
H	Ascenso Capilar
G	aceleración de la gravedad
Dd	Diferencia de densidad entre los fluidos
PA	Presión en el punto "A"
PB	Presión en el punto "B"
PC	Presión en el punto "C"
PD	Presión en el punto "D"
PE	Presión en el punto "E"
Pcap	Presión capilar
Pnm	Presión de la fase no-mojante
Pm	Presión de la fase mojante
P	Densidad
API	Grados API
Vt	Volumen total
Vp	Volumen poroso
Ø	Porosidad
Sw%	Saturación de agua medida en porcentaje
Vw	Volumen de agua de la muestra
Vwf	Peso de la muestra en cada etapa
Vwi	Peso de la muestra seca
Pw	densidad de la salmuera

ABREVIATURAS

atm	Atmósferas
°C	Grados centígrados
cc	Centímetros cúbicos
cm ²	Centímetros cuadrados
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de carbono
hr	Hora
Kg	Kilogramos
lbs	Libras
ml	Mililitros
MPa	MegaPascales
psig	Pound squared inch gauge
seg	Segundos
V	Voltio
Ft	Pie
%	Porcentaje
gr	Gramos

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Proceso metodológico para el desarrollo de nuestro proyecto	5
Ilustración 2	Ascenso Capilar de la interfase agua - petróleo.....	7
Ilustración 3	Presión en diferentes puntos de la zona de ascenso capilar	9
Ilustración 4	Idealización de un medio poroso heterogéneo	13
Ilustración 5	Presión en diferentes puntos de la zona de ascenso capilar	14
Ilustración 6	Un capilar abierto y cerrado, el capilar cerrado puede encerrar un fluido sobre - presurizado.....	16
Ilustración 7	Membrana aislada con una membrana " capilar".....	17
Ilustración 8	El nivel del líquido disminuye dentro del capilar y el sello capilar impide la fuga de gas	18
Ilustración 9-	La presión interna (P_3) equilibra exactamente la presión capilar del sistema.....	19

Ilustración 10 - Sello capilar roto por exceso de presión interna	20
Ilustración 11 - Método de la membrana Semi-Permeable	23
Ilustración 12 - Ejemplo de presión vs saturación de agua	27
Ilustración 13 - Charla del Ing. Lucas Mateo y el estudiante Henry Ariadel Cobo	28
Ilustración 14 - Charla con el Ing. Lucas Mateo y el estudiante Bryan Avilés Arroyo	29
Ilustración 15 - Equipo diseñado para Medición de Presión Capilar de la Universidad de Santa Elena	29
Ilustración 16 - Plato poroso antes de pintarla	31
Ilustración 17 - Tapa del plato poroso antes de pintarla	31
Ilustración 18 - Plato poroso después de pintar	32
Ilustración 19 - Tapa del plato poroso después de pintar	32
Ilustración 20 - Componentes externos de la tapa del plato poroso	33

Ilustración 21 - Componentes externos del cuerpo del plato poroso	33
Ilustración 22 - Componentes internos del plato poroso	33
Ilustración 23 - Caja principal fuera de servicio	34
Ilustración 24 - Caja principal - parte frontal	36
Ilustración 25 - Caja Principal - Posterior	37
Ilustración 26 – Manómetro Bourdon	38
Ilustración 27 - Partes del manómetro Bourdon	39
Ilustración 28 - Esquema Reguladora de Presión.....	40
Ilustración 29 - Regulador de Presión del equipo de Presión capilar	41
Ilustración 30 - Estudiante Bryan Avilés adhiriendo teflón a la válvula de dos vías.....	42
Ilustración 31 - Estudiante Henry Ariadel Cobo, ajustando la válvula del regulador de presión de (0-40) psi.....	43

Ilustración 32 - Ensamblaje de las piezas del Equipo de Presión Capilar	43
Ilustración 33 - Inspección de ajuste de mangueras y válvulas por parte del Ing. Iván.....	44
Ilustración 34 - Caja principal parte frontal finalmente armado para su uso .	44
Ilustración 35 - Caja Principal, parte posterior finalmente armada para su uso	45
Ilustración 36- Equipo de limpieza de núcleos	48
Ilustración 37- equipo para secado de núcleos	49
Ilustración 38- Equipo de saturación de núcleo	51
Ilustración 39- Bomba de vacío	52
Ilustración 40- Grafica de presión capilar vs saturación de agua realizada en el laboratorio de la Fict-Espol	59
Ilustración 41- Grafica de presión capilar vs saturación de agua en los laboratorios de Petroamazonas	60

Ilustración 42- Curvas formadas por lo datos obtenidos de los equipos de Petroamazona y del laboratorio de la Fict.....	62
--	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 ejemplo de datos de presión, masa y saturación	27
Tabla 2 datos de los núcleos de Petro-Amazonas	55
Tabla 3 datos de la prueba de laboratorio realizada en la Fict.....	58
Tabla 4 datos de cálculos analíticos de la prueba de laboratorio realizada en la Fict	58
Tabla 5 datos de la prueba de laboratorio realizada en Petro-Amazonas	60

INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como finalidad analizar el método de la Membrana Semi-Permeable, con el Equipo de Presión Capilar, que se basa en el empleo de un medio poroso (membrana) donde se comienza con una saturación del 100% de la roca, para esto en el interior de la celda de desaturación se colocan los núcleos asegurando previamente con los pernos , después se le aplicara sucesivamente presiones a la muestra según las normas API, que permitirá establecer los puntos de Presión capilar vs saturación de agua, este método se lo usa mas para obtener curvas de drenaje en sistemas gas-agua o petróleo agua.

Como toda prueba de laboratorio, se debe operar con supervisión de una persona capacitada ya que esta se la debe cumplir con las respectivas normas mencionadas en el presente documento, para que la misma se la realice con éxito.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. Planteamiento del problema:

El equipo de presión capilar ha sido un pilar fundamental en la formación de los estudiantes que han tomado la materia denominada “laboratorio de petróleo”; sin embargo, su uso continuo provocó manómetros sin calibrar, piezas perdidas y válvulas dañadas, generando un deterioro general del mismo; motivo por el cual, dicho equipo desde hace varios semestres atrás no ha podido ser utilizado por los estudiantes de nuestra Universidad, generando vacíos en los conocimientos de dichos estudiantes, por cuanto poner en práctica la teoría impartida por los maestros es de vital importancia en nuestra Facultad.

El presente proyecto tiene por finalidad rehabilitar el equipo de presión capilar, verificando todos los daños sufridos en el mismo, reparando dichos daños, para que se pueda trabajar al 100%, con el fin de que los futuros estudiantes de Ingeniería en Petróleos puedan realizar sus prácticas y poder obtener resultados confiables; estando así, todos los estudiantes en igualdad de

condiciones y conocimientos, situación que ha sido distinta para muchos estudiantes universitarios.

1.2. Justificación del Proyecto

La realización de este proyecto fue de suma importancia, por cuanto, su finalidad es la rehabilitación del equipo de presión capilar, el mismo que es utilizado en las prácticas realizadas por los estudiantes de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, generando así las mismas condiciones para todos los estudiantes, respecto a los conocimientos recibidos por los diferentes maestros; procurando que el equipo rehabilitado esté en óptimas condiciones para su utilización; considerando que dicho equipo no ha sido utilizado desde hace varios semestres, lo cual generó descontento y desigualdad en los estudiantes.

Por esto se decidió trabajar en la rehabilitación del equipo de presión capilar dejando un granito de aporte a nuestra facultad que nos ayudó en la formación profesional.

1.3. Metodología

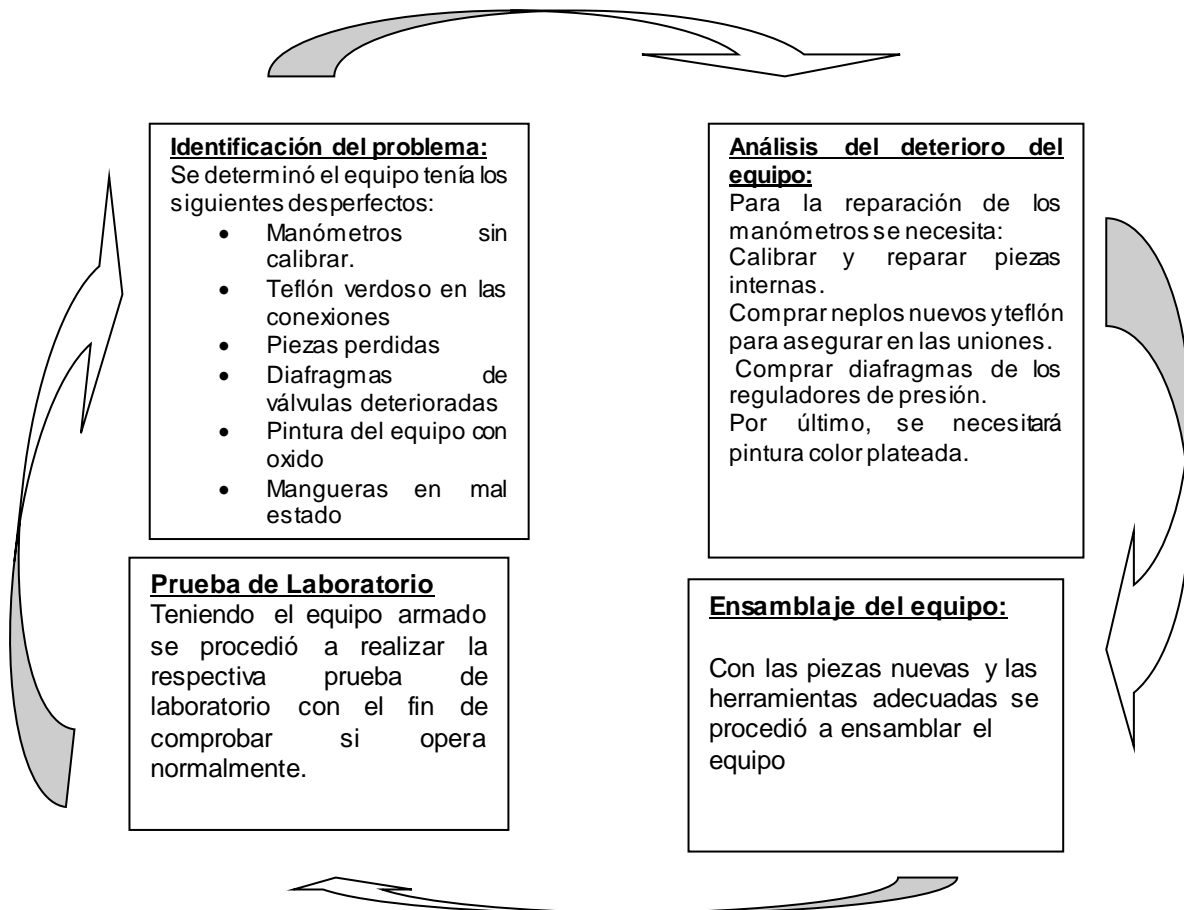


Ilustración 1 Proceso metodológico para el desarrollo de nuestro proyecto.

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental de la Construcción de la Obra de Toma de inundaciones de Sistemas de Riesgo Pasaje- Machala

1.4. Objetivo General.

- Rehabilitar el equipo de Presión capilar, para que los futuros estudiantes de ingeniería en petróleo puedan realizar sus prácticas de manera

eficiente, y poder así obtener resultados confiables al momento de realizar las pruebas de presión capilar en las instalaciones de la FICT-ESPOL.

1.5. Objetivos específicos.

- Reparar y calibrar el equipo de Presión capilar.
- Elaborar pruebas de presión capilar en varios núcleos simultáneamente.
- Realizar curvas de presión capilar con el fin de estimar un error al momento de calibrar, con las curvas que proporciono PETROAMAZONAS EP.
- Determinar en qué punto la Saturación de agua (S_w) es irreductible.

1.6. Marco Teórico

1.6.1. Conceptos básicos sobre las curvas de presión capilar

Cuando dos fluidos coexisten dentro de un medio poroso se ponen de manifiesto varios fenómenos que se dan lugar por la existencia de tensiones interfaciales y ángulos de contacto entre la interfase de estos fluidos y el medio poroso.

Por medio de tubos capilares se puede estudiar este sistema (Crotii, 2003)

1.6.2. Capilaridad

Cuando un capilar es sumergido en la interfase de dos fluidos puede producirse dos casos en la interfase:

En “ascenso capilar” es el primer caso, y el “descenso capilar” es el segundo caso, estos movimientos se producen que su fase mojante invada de manera preferencia el medio poroso (Crotii, 2003)

1.6.3. Presión Capilar

La ilustración 2 muestra donde se genera el denominado ascenso capilar.

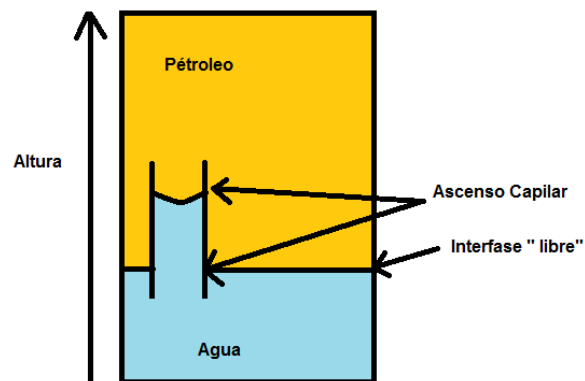


Ilustración 2 Ascenso Capilar de la interfase agua – petróleo
Fuente: Diseño y Calibración de un Equipo para Medición de Presión Capilar por Steven Dickens

La fuerza que origina el ascenso capilar se la expresa de la siguiente manera:

- Fuerza (\uparrow) = $\sigma_{w0} \cdot \cos \theta_{w0} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r$ [I]

Donde,

- σ_{w0} = Tensión interfacial (Dinas/cm)
- θ_{w0} = Ángulo de contacto de la interfase líquida con la superficie del sólido.
- r = Radio del capilar (cm)

Por otro lado, el cambio de petróleo por agua durante el proceso es:

- Peso adicional de la columna = $\pi \cdot r^2 \cdot h \cdot g \cdot \Delta\delta$ [II]

Donde,

- h = Ascenso Capilar (cm)
- g = aceleración de la gravedad (cm / seg²)
- $\Delta\delta$ = Diferencia de densidad entre los fluidos (g / cm³)

Al igualar las ecuaciones Y, [I] y [II] se compensan y despejando la altura "h", obtenemos:

- $h = 2 \cdot \sigma_{wo} \cdot \cos \theta_{wo} / (r \cdot g \cdot \Delta \delta)$ [III]

La ecuación [III] muestra la dependencia de los efectos capilares con el diámetro del tubo, con la tensión interfacial y el ángulo de contacto (mojabilidad del sistema) y la diferencia de densidad entre fluidos. Estas son varias consecuencias prácticas de estas expresiones.

La ilustración 3 se detalla el mismo esquema de la ilustración 2, donde los puntos servirán para definir el concepto de presión capilar.

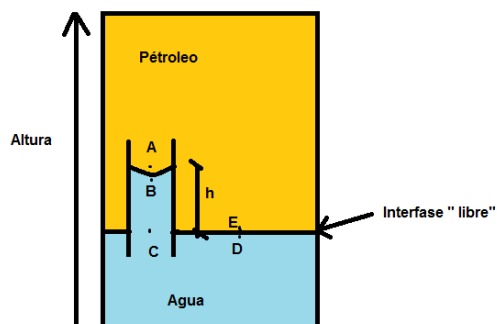


Ilustración 3 Presión en diferentes puntos de la zona de ascenso capilar
Fuente: Diseño y Calibración de un Equipo para Medición de Presión Capilar por Steven Dickens

Se procederá a comparar las presiones en los puntos **A** y **B** de la ilustración 3. Cada uno de estos puntos se localizan en una posición diferente de la interfase agua-petróleo y, aunque sabiendo que del análisis más simple se podría decir que ambos puntos, de acuerdo a su cercanía, deberían tener presiones equivalentes, se verá que esta situación real es muy distinta.

Se empezará comparando los puntos **E** y **D**: Ambos puntos están muy cercanos (uno a cada lado de la interfase) y no hay fenómenos capilares involucrados, determinando que se encuentran prácticamente a la misma presión (la columna de fluidos entre **E** y **D** es casi despreciable).

Los puntos **C** y **D** se encuentran exactamente a la misma presión dado que están a la misma altura dentro de un mismo fluido. ($P_C = P_D$)

Como la diferencia de presión entre **B** y **C** está fijada por la columna de agua que separa ambos puntos, la presión en **B** tomara la siguiente expresión:

- $P_B = P_C - \delta_w \cdot g \cdot h$ [IV]

Y, del misma manera:

- $P_A = P_E - \delta_o \cdot g \cdot h$ [V]

Por lo que, restando las expresiones [V] y [IV] (y teniendo en cuenta que $P_C = P_E$), resulta:

- $P_A - P_B = \Delta\delta_{wo} \cdot g \cdot h$ [VI]

La expresión [VI] muestra que la diferencia de presión entre los puntos de interés (**A** y **B**) siendo esta igual a la diferencia de presión correspondiente al cambio de un fluido por otro en el capilar.

En resumen, la expresión [VI] indica una diferencia de presión (dependiendo que mayor es el ascenso capilar).

La presión capilar del sistema se la defina también en su forma genérica y es la siguiente.

- $P_{cap} = P_{nm} - P_m$ [VII]

Donde,

- P_{cap} = Presión Capilar
- P_{nm} = Presión de la fase no-mojante

- P_m = Presión de la fase mojante.

En el caso analizado, el agua es la fase mojante, y el petróleo la fase no-mojante, no obstante, la expresión [VII] se aplica tanto a sistema de capilares cilíndricos como a sistemas de geometría no definida o altamente variable como es el caso de los medios porosos naturales.

Otra expresión que se puede analizar los fenómenos capilares es la que se obtiene reemplazando la expresión [VI] en la expresión [III]. En este caso se obtendrá:

- $P_{cap} = 2 \cdot \sigma_{wo} \cdot \cos \theta_{wo} / r$ [VIII]

La expresión [VIII] muestra que, la presión capilar es inversamente proporcional al radio del capilar involucrado (Crotii, 2003).

1.6.4. Medios Heterogéneos

Los medios porosos heterogéneos presentan una amplia gama de valores, debido a que poseen capilares de diferente tamaño.

En la ilustración 4, se muestra el esquema muy simplificado de un medio poroso heterogéneo, en base a capilares cilíndricos de diferente diámetro.

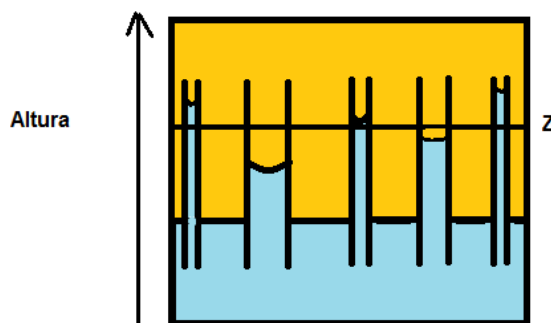


Ilustración 4 idealización de un medio poroso heterogéneo
Fuente: Diseño y Calibración de un Equipo para Medición de Presión Capilar por Steven Dickens

En la ilustración 4, se observa que, por encima del nivel de agua libre, existen capilares de petróleo y capilares de agua., dependiendo del diámetro de los mismos y del nivel elegido (Crotii, 2003)

1.6.5. Curvas de Presión Capilar

La ilustración 5 muestra el cambio de la saturación de agua con la altura correspondiente a un sistema polar heterogéneo, pero uniforme, por la curva de trazo grueso y color rojo.

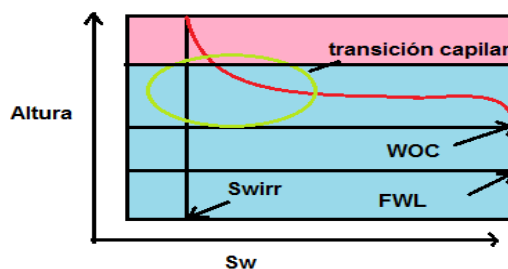


Ilustración 5 Presión en diferentes puntos de la zona de ascenso capilar
Fuente: Diseño y Calibración de un Equipo para Medición de Presión Capilar por Steven Dickens

En dicha Figura se identifican algunos puntos y zonas típicas de las curvas de presión capilar.

- **FWL** = Nivel de agua libre ("**F**ree **W**ater **L**evel"). Es el nivel en el que se presentaría la interfase agua petróleo en ausencia de medio poroso.
- **WOC** = Contacto Agua-Petróleo ("**W**ater **O**il **C**ontact). Es el nivel más bajo en que se puede detectar petróleo. La diferencia entre el **WOC** y el **FWL** corresponde al ascenso capilar generado por los poros de mayor "diámetro" de la red poral.
- **Swirr** = Saturación de agua irreductible. Es la mínima saturación de agua obtenida por desplazamiento capilar. En los capilares cilíndricos la Swirr es nula (no hay fases residuales), pero en los medios porosos naturales

toma valores, en general superiores al 10 ó 15 % VP, siendo frecuentes Swirr superiores al 25% VP.

- **Zona de Transición Capilar:** Es la zona que incluye todos los niveles en que la Sw varía entre el 100 % VP y la Swirr (Crotii, 2003)

1.6.6. Los Sellos Capilares y las Capas Semi-Permeables

Lo que se analiza en detalle es la habilidad de ciertas estructuras porosas para permitir el paso de unos fluidos e impedir el paso de otros. A la vez, los conceptos que se introducen, permiten entender los fundamentos del método "patrón" utilizado para determinar curvas de presión capilar en Laboratorio, para explicar muchos fenómenos, aparentemente anómalos, relacionados a la acumulación y distribución de hidrocarburos en el subsuelo (Rodriguez, 2001).

1.6.7. El "Sello" Capilar

El proceso de absorción produce el ingreso espontáneo de la fase mojante dentro de una estructura capilar. Para retirar la fase que ingresa espontáneamente (o impedir su ingreso) es necesario aplicar una presión que contrarreste las fuerzas capilares generadas espontáneamente.

Esta situación se ilustra en la ilustración 6, En dicha figura se esquematizan dos capilares cilíndricos, idénticos en todo sentido, excepto en que uno de ellos es abierto y el otro cerrado en el extremo superior.

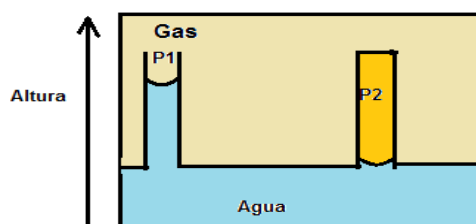


Ilustración 6 un capilar abierto y cerrado, el capilar cerrado puede encerrar un fluido sobre – presurizado

Fuente: Diseño y Calibración de un Equipo para Medición de Presión Capilar por Steven Dickens

En el capilar cerrado se ha generado una presión adicional en el gas ($P_2 > P_1$), equivalente a la presión capilar. De este modo se previene el ascenso capilar y (aunque las presiones absolutas son diferentes), la diferencia de presión entre fases, de un lado y otro del menisco capilar, es idéntica a la que se obtiene en el capilar abierto.

Sin embargo, aunque el fenómeno es simple, cuando se observa en detalle la ilustración 6, nos encontramos con un fenómeno llamativo: **En el capilar cerrado tenemos un gas sobre-presurizado que no se escapa del sistema, sino que permanece retenido aunque un extremo del capilar esté abierto.** Este fenómeno sería imposible si no existiera una interfase, como la indicada, en el extremo abierto (Rodríguez, 2001).

1.6.8. Las Membranas Semi-Permeables

La ilustración 7, muestra una cámara estanca (esquemática con un cuadro rojo) separada del sistema abierto por una membrana capilar saturada con agua. El agua es la fase mojante del sistema.

La membrana que denominamos "Membrana Capilar" está formada por una matriz impermeable y un número considerable de capilares muy finos, todos de diámetro similar.

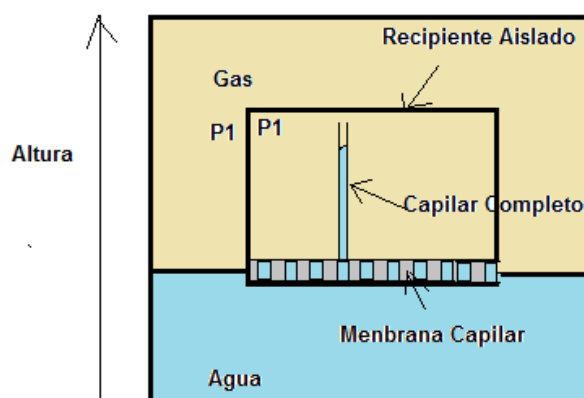


Ilustración 7 membrana aislada con una membrana "capilar".

Fuente: Diseño y Calibración de un Equipo para Medición de Presión Capilar por Steven Dickens

En la figura, sólo para ayudar a visualizar los fenómenos se incluye un capilar más largo que los otros de la membrana. Este capilar "completo" muestra el ascenso capilar espontáneo que se produce cuando las presiones dentro y fuera de la cámara estanca son iguales.

Si la presión dentro de la cámara se aumenta ($P_2 > P_1$), tal como se muestra en la ilustración 8, esta presión no se libera al exterior (por la acción del sello capilar) pero el nivel de agua en el capilar "completo" disminuye sensiblemente, dado que no es necesaria una columna de agua tan grande como la de la ilustración 7, para compensar la presión capilar del sistema.

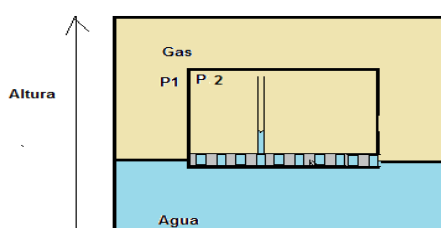


Ilustración 8 El nivel del líquido disminuye dentro del capilar y el sello capilar impide la fuga de gas

Fuente: Diseño y Calibración de un Equipo para Medición de Presión Capilar por Steven Dickens

Cuando se aumenta más la presión interna se llega a la situación esquematizada en la ilustración 9.

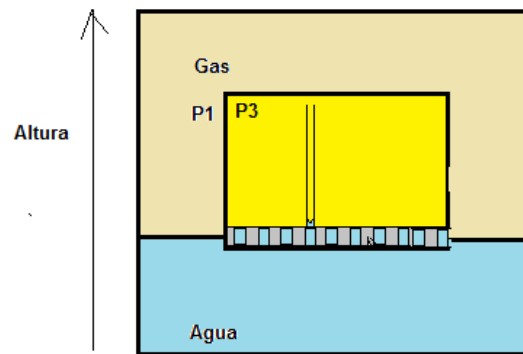


Ilustración 9 La presión interna (P_3) equilibra exactamente la presión capilar del sistema
Fuente: Diseño y Calibración de un Equipo para Medición de Presión Capilar por Steven Dickens

En este caso se llega al límite de presión que soporta la membrana semi-permeable. Ésta es la Presión Umbral (P_U) de la membrana.

A presiones superiores a la presión P_U el sello capilar se rompe y la membrana deja de comportarse como semi-permeable pues permite el paso de ambos fluidos. Este es el caso de la ilustración 10.

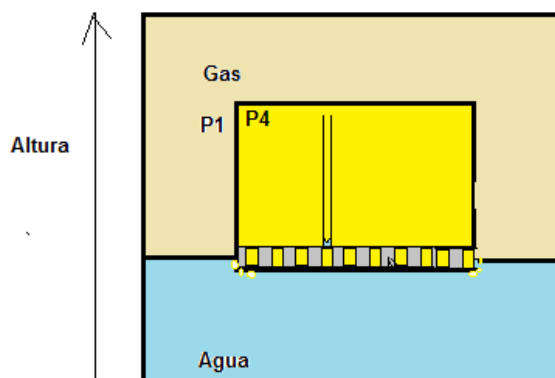


Ilustración 10 Sello capilar roto por exceso de presión interna

Fuente: Diseño y Calibración de un Equipo para Medición de Presión Capilar por Steven Dickens

Las características aquí discutidas, se presentan frecuentemente en las estructuras de los reservorios de hidrocarburos. Como se vio, las rocas permeables pueden actuar como sellos de trampas, siempre que las presiones de las columnas de fluidos no generen presiones superiores a la presión umbral de estas rocas.

Una característica importante de estos sistemas es que, aunque impidan el paso de hidrocarburos, al ser permeables al agua, permiten la transmisión de presión y el aporte de agua desde estructuras cercanas.

Por razones didácticas, en esta página se analizó un caso en que la membrana semi-permeable está en la base de la estructura. Sin embargo, los conceptos

desarrollados son válidos para sellos laterales y/o sellos superiores (Crotti, 2003).

CAPÍTULO 2

2. MÉTODO PARA DETERMINAR LA PRESIÓN CAPILAR Y PROCEDIMIENTO DE REHABILITACIÓN DEL EQUIPO DE LA FICT.

Existen varios métodos para la determinación de Presión Capilar como; Método de la Centrifuga, Método de la Inyección de Mercurio y Método de la membrana Semipermeable, siendo este el método que se aplicará y será estudiado a fondo. (Guerrero, Diseño y Clibracion de un equipo para medicion de presion capilar, 2007)

2.1. Método de la Membrana Semi-Permeable

Se lo conoce también como, el método "patrón". Se trabaja en un medio poroso (membrana) con capilares muy finos que se manifiestan como barrera semi-permeable cuando se encuentra totalmente saturada con la fase mojante del sistema.

Para poder realizar las mediciones se coloca en la celda de desaturación una membrana capilar, previamente saturada con la fase mojante del sistema.

Los núcleos se saturan totalmente en la fase mojante (regularmente agua) y se colocan en el interior, de la celda de desaturación en contacto capilar con la membrana semi-permeable.

La aplicación sucesiva de presiones de saturación según las normas API, de la fase desplazante, permite establecer los puntos de saturación de las muestras.

Es un método utilizado regularmente para obtener curvas de drenaje en sistemas gas-agua o petróleo-agua. (Guerrero, Diseño y Calibración de un equipo para medición de presión capilar, 2007)

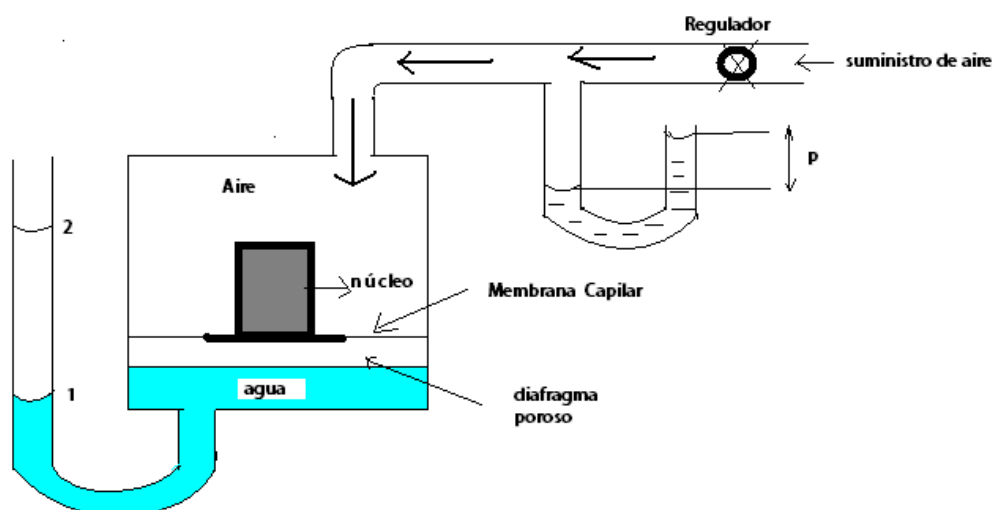


Ilustración 11 Método de la membrana Semi-Permeable

Fuente: Diseño y Calibración de un Equipo para Medición de Presión Capilar por Steven Dickens

2.1.1. Ventajas:

- Es un método sencillo y rápido
- Es una medición absoluta.
- Permite conocer la saturación irreductible de agua del sistema.
- Se puede trabajar con varios núcleos a la vez en la misma cámara y utilizando la misma membrana. (Guerrero, Diseño y Calibración de un equipo para medición de presión capilar, 2007)

2.1.2. Desventajas:

- Sólo se emplea para curvas de drenaje.
- No puede trabajar una sola persona porque se necesita una persona manipulando las válvulas del tanque y la otra en las válvulas del equipo
- Los manómetros son sumamente delicados por lo cual se debe trabajar con mucho cuidado. (Guerrero, Diseño y Calibración de un equipo para medición de presión capilar, 2007)

Este método se lo analizara en el desarrollo del proyecto.

2.2. Procedimiento

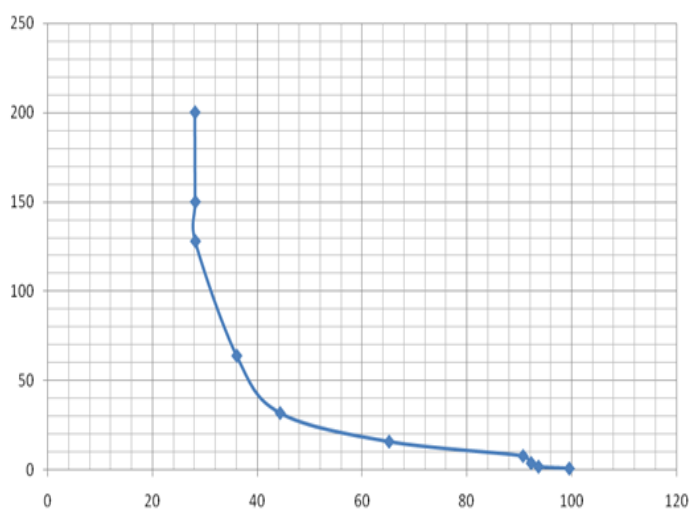
1. Revisar que el equipo de presión capilar esté operativo y el plato poroso esté libre de impurezas.
2. Colocar un Kleenex sobre la membrana semi-permeable. Sobre este se colocará la muestra.
3. Colocar la muestra dentro de la celda de desaturación, ajustar bien los tornillos aseguradores, cerciorándose de que el empaque este colocado correctamente.
4. Colocar la manguera de aire al Air Inlet del regulador a ser utilizado.
5. Colocar la manguera del regulador a la válvula de entrada de la celda de desaturación; y colocar la presión de trabajo a 1 psi.
6. Aliviar la presión de la celda a la atmosférica. Abrir la tapa y medir la masa de la muestra.
7. Colocar la muestra nuevamente en la celda, e incrementar la presión a 2 psi.

8. Aliviar la presión de la celda a la atmosférica. Abrir la tapa y pesar la muestra.
9. Ir incrementando la presión al doble de la que se utilizó anteriormente, hasta llegar a una presión máxima antes de llegar a los 200 psi y repetir el mismo procedimiento de alivio de presión y registro de masa antes utilizado.
10. Luego de terminar de realizar todas las repeticiones, se utiliza la siguiente ecuación para obtener los valores de S_w : $S_w = \text{masa muestra en cada etapa} - \text{muestra seca} / \text{densidad de agua} * \text{volumen poroso}$
11. Una vez obtenidos todos los valores de S_w , se puede proceder a construir la curva de Presión Capilar vs. Saturación de agua (Guerrero, Diseño y Calibración de un equipo para medición de presión capilar, 2007)

Tabla 1 Ejemplo de datos de presión, masa y saturación

Presión (psi)	Masa (gr)	Saturación agua (%)
1		
2		
4		
8		
16		
32		
64		
128		
150		
200		

Fuente: Diseño y Calibración de un Equipo para Medición de Presión Capilar por Steven Dickens

**Ilustración 12** Ejemplo de presión vs saturación de agua

Fuente: Diseño y Calibración de un Equipo para Medición de Presión Capilar por Steven Dickens

Mediante el uso de esta curva se puede calcular la saturación de agua irreductible (S_{wir}). 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 $Sw_{ir} =$ %.

2.3. DISEÑO Y CALIBRACION DEL EQUIPO

Con el fin de rehabilitar el Equipo de Medición de Presión Capilar de la Facultad de Ingeniería de Petróleos de la ESPOL; Se realizó una visita técnica a la Universidad Estatal de la Península de Santa Elena, la misma que fue guiada por el Ing. Lucas Mateo encargado del laboratorio, quien explicó cómo estaba estructurado el equipo y su respectivo funcionamiento.



Ilustración 13 Charla del Ing. Lucas Mateo y el estudiante Henry Ariadel Cobo
Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar de la Universidad de Santa Elena.



Ilustración 14 Charla con el Ing. Lucas Mateo y el estudiante Bryan Avilés Arroyo
Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar de la Universidad de Santa Elena.



Ilustración 15 Equipo diseñado para Medición de Presión Capilar de la Universidad de Santa Elena
Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar de la Universidad de Santa Elena.

2.4. Principio de Funcionamiento

Antes de realizar la práctica se verifica si los núcleos se encuentran saturados con agua destilada, para después ser colocado en el plato poroso. Los mismos que serán colocados sobre un diafragma poroso. El tamaño promedio de los poros del diafragma, deben ser más pequeños que el de los núcleos.

Cuando se inyecta presión dentro del recipiente que contiene los núcleos, el fluido empleado en la saturación del núcleo es desplazado a través del diafragma poroso. Después de esto se registra la masa del núcleo

Para construir una curva de presión capilar, se debe ir inyectando poco a poco presión en intervalos de tiempo para determinar el desplazamiento del fluido humectante. (Guerrero, Diseño y Calibración de un equipo para medición de presión capilar, 2007)

2.5. Parte del Equipo

Este equipo funciona con el método de laboratorio de Membrana Semi-Permeable o Diafragma Poroso. El equipo consta de dos partes:

- Caja Principal
- Celda de Desaturación

2.5.1. Celda de Desaturación

La celda de desaturación es donde se depositan los núcleos para determinar la respectiva curva de Presión Capilar. Este componente es parte del equipo que se encontraba en un estado defectuoso. A continuación se puede observar el antes y después de la rectificación y mejora del plato poroso:

1. Se inició el proceso de recuperación del equipo, aplicando un removedor de pintura, dejando reposar durante dos días para que salga toda la pintura vieja y el óxido.
2. Luego se pintó la celda de desaturación con pintura de color plateado.

A continuación se puede observar el antes y el después.



Ilustración 16 Plato poroso antes de pintarla

Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol



Ilustración 17 Tapa del plato poroso antes de pintarla

Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol



Ilustración 18 Plato poroso después de pintar

Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol

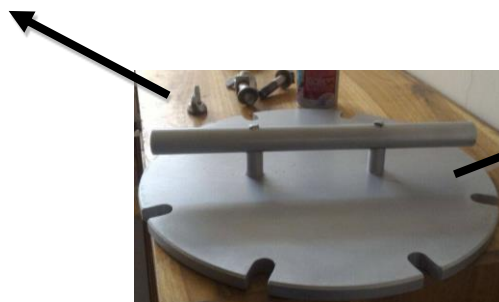


Ilustración 19 Tapa del plato poroso después de pintar

Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol

En las ilustraciones 20, 21 y 22, se muestra el plato poroso y sus componentes principales.

Perno
Asegurador



Tapa

Ilustración 20 Componentes externos de la tapa del plato poroso
Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol

Desfogue del plato
poroso



Válvula de
paso (gas)

Cuerpo

Ilustración 21 Componentes externos del cuerpo del plato poroso
Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol

Ring



Capilar que conecta
el plato con el
desfogue

Membrana Semi-
Permeable

Ilustración 22 Componentes internos del plato poroso
Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol

2.5.2. Caja Principal

La caja Principal o panel de control consta de tres manómetros (0-30 psi, 0-100 psi y 0-200 psi), la presencia de estos tres manómetros hace que el equipo sea mucho más exacto, las dos válvulas de 0 a 40 psi y 0 a 200 psi en la caja principal, cada una con su respectiva entrada de gas, permite el control más preciso de la presión con la que se va a trabajar. También existe una válvula de tres vías entre los dos reguladores, que permite seleccionar el regulador con el que se va a trabajar, debajo del manómetro de 0 a 30 psi tenemos una válvula de paso utilizada para abrir o cerrar el flujo de gas hacia el manómetro. También se puede observar debajo del manómetro de 100 psi una válvula de dos vías, utilizada para abrir el paso del gas hacia el manómetro de 100 psi, o al de 200 psi, dependiendo de la necesidad. (Guerrero, Diseño y Clibracion de un equipo para medicion de presion capilar, 2007)

A continuación se observara la caja principal donde se encuentra fuera de servicio.



Ilustración 23 Caja principal fuera de servicio

Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol

Para la rehabilitación de la caja principal:

Se cambió lo siguiente: Válvula de dos vías, paso, tres vías y las dos válvulas reguladores de (0-40) psi y (0-200) psi, se realizaron las respectivas pruebas a los manómetros para poder saber si se encontraban calibrados.

La prueba de laboratorio en SERLAM (Servicio Latinoamericano de Metrología), determino que los manómetros tanto de 30 y 100 psi, aparte de no estar calibrados no tenía unos resortes de soporte en la parte interna y en el manómetro de 200 psi se le realizo la calibración en 10 puntos desde 0 hasta 3000 psi, dejando los manómetros en optimo estado para su uso.

En la ilustración 24, se observa todos los componentes que se encuentran interconectados y ensamblados en la caja principal.

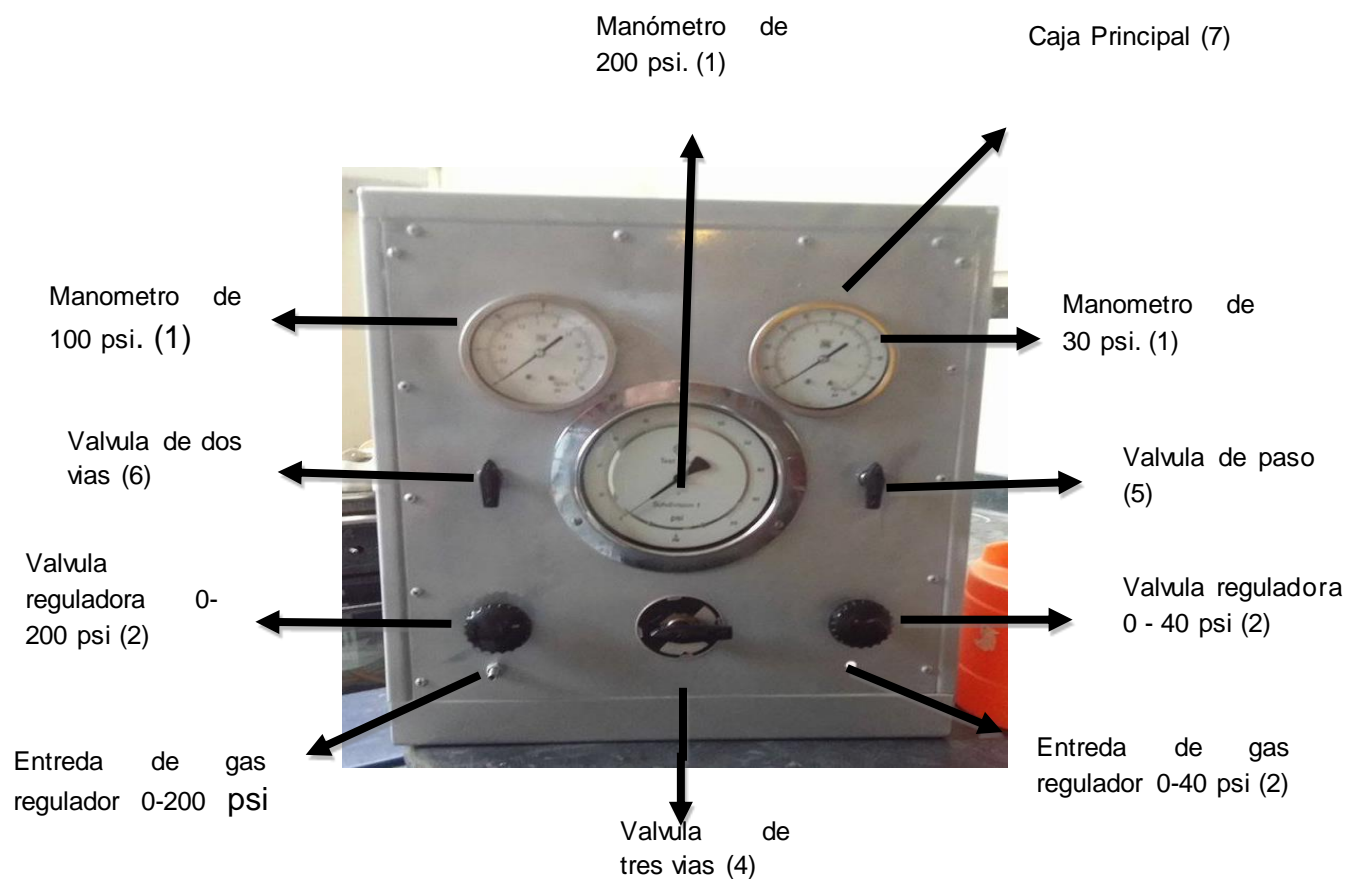


Ilustración 24 Caja principal - parte frontal

Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol

Para la construcción del equipo se utilizó 16 neplos de cobre y 3 metros de plástico de 1/8"; estos complementos se enlazan y establecen comunicación interna del equipo.

Deben estar bien ajustados, para que no exista fuga de gas, en las uniones se coloca teflón y esto ayudara que los datos de presión capilar sean exactos.

En la fig. 25 se podrá observar el trabajo antes mencionado.



Ilustración 25 Caja Principal – Posterior

Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petr6leos de la Espol

A continuaci6n se dar6 una breve explicaci6n de las partes principales del panel de control.

2.5.3. Man6metro Bourdon

El perme6metro de l6quido cuenta con un man6metro de 4 1/2" de di6metro que est6 en escalas de 0-30 psi y 0-2.2 bar, el cual es usado para medir la presi6n con la cual el fluido atraviesa el n6cleo.

El tipo de man6metro usado para dicha funci6n es un man6metro Bourdon.



Ilustración 26 Manómetro Bourdon

Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol

Las partes que constituyen a este tipo de manómetros son:

Bisel, Cristal, Aguja, Anillo Espaciador, Escala, Carátula, Tornillo de carátula, Conector, Base, Tubo Bourdon, Final del tubo, Marco exterior, Tapa posterior, Tornillo de ajuste, Tornillo sujetador de marco exterior.

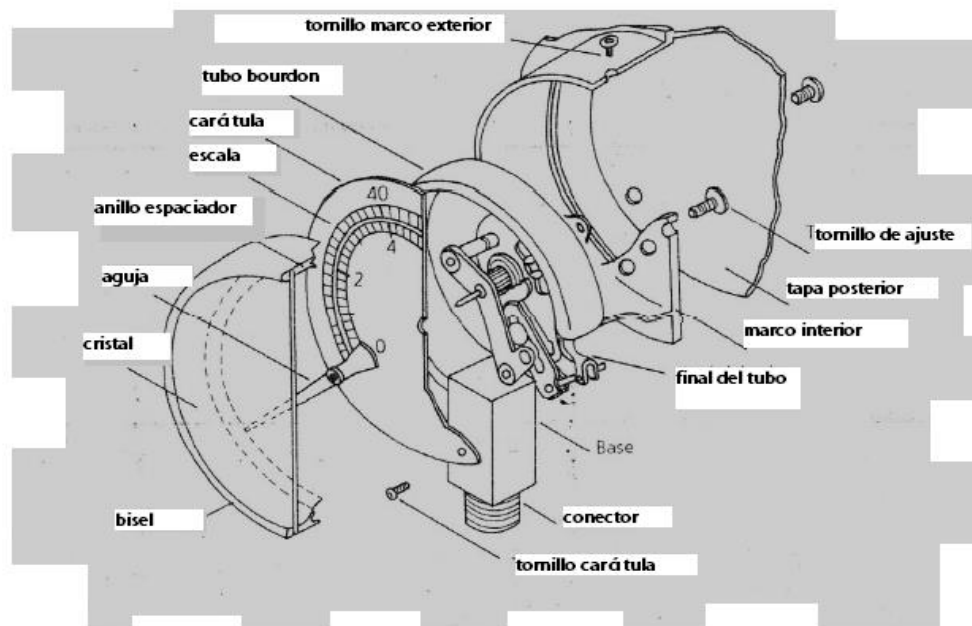


Ilustración 27 Partes del manómetro Bourdon

Fuente: Productividad y Calidad, todo en Ingeniería Industrial- Medidores de Presión

2.5.4. Regulador de Presión

El regulador sirve para mantener constante la presión de trabajo secundaria, independientemente de las variaciones que sufra la presión de red (primaria) y del consumo de CO₂. La presión primaria es siempre $>$ que la secundaria. Es regulada por la membrana (1), que es sometida, por un lado, a la presión de trabajo, y por el otro a la fuerza de un resorte (2), ajustable por medio de un tornillo (3).

A medida que la presión de trabajo aumenta, la membrana actúa contra la fuerza del muelle. La sección de paso en el asiento de válvula (4) disminuye

hasta que la válvula cierra el paso por completo. En otros términos, la presión es regulada por el caudal que circula. Al tomar aire, la presión de trabajo disminuye y el muelle abre válvula. La regulación de la presión de salida ajustada consiste, pues, en la apertura y cierre constantes de la válvula. Al objeto de evitar oscilaciones, encima del platillo de válvula (6) hay dispuesto un amortiguador neumático o de muelle (5). La presión de trabajo se visualiza en un manómetro.

Cuando la presión secundaria aumenta demasiado, la membrana es empujada contra el muelle. Entonces se abre el orificio de escape en la parte central de la membrana y el CO₂ puede salir a la atmósfera por los orificios de escape existentes en la caja.

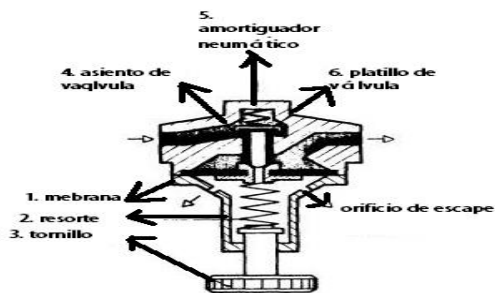


Ilustración 28 Esquema Reguladora de Presión

Fuente: Productividad y Calidad, todo en Ingeniería Industrial- Medidores de Presión



Ilustración 29 Regulador de Presión del equipo de Presión capilar
Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol

El equipo de Presión Capilar está compuesto por dos válvulas reguladoras de (0 – 40) y (40– 200) psi, estas válvulas en su interior tienen diafragmas los cuales se los cambio, ya que se encontraban en mal estado, este diafragma es una membrana que regula la presión de trabajo (Guerrero, Diseño y Clibracion de un equipo para medicion de presion capilar, 2007).

En esta última parte de la sección se procedió con el ensamblaje del equipo, se cambiaron las piezas viejas por piezas nuevas, para que no exista fuga de gas.

A continuación se observa al estudiante Bryan Avilés ajustando con teflón la válvula de dos vías.



Ilustración 30 Estudiante Bryan Avilés adhiriendo teflón a la válvula de dos vías
Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol

Siguiendo con el procedimiento, el estudiante Henry Ariadel Cobo procedió con el ajuste de las válvulas del regulador de presión de (0 -40) psi, para poder realizar esto se compraron nuevas válvulas y se las ajusto con teflón.

A continuación se podrá visualizar mejor el procedimiento que se realizó.



Ilustración 31 Estudiante Henry Ariadel Cobo, ajustando la válvula del regulador de presión de (0-40) psi

Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol

Teniendo todas las válvulas en buen estado y con teflón se procede con el ensamblaje final.

A continuación se podrá observar el equipo armándose.



Ilustración 32 Ensamblaje de las piezas del Equipo de Presión Capilar

Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol



Ilustración 33 Inspección de ajuste de mangueras y válvulas por parte del Ing. Iván
Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol

Por último se podrá observar el equipo finalmente armado con todas sus piezas en su lugar.



Ilustración 34 Caja principal parte frontal finalmente armado para su uso
Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol



Ilustración 35 Caja Principal, parte posterior finalmente armada para su uso
Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petr6leos de la Espol

CAPITULO 3

3.1. PRUEBA DE LABORATORIO Y RESULTADOS

Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de petróleos de la FICT-ESPOL, donde primero se probaron las mangueras, plug, conexiones, manómetros, neplos, válvulas y diafragmas; realizando esta prueba con el paso de dióxido de carbono (CO₂), entre las conexiones, donde se encontraron fugas en las conexiones, pero estas fueron resueltas.

Luego de comprobar que el equipo se encontraba en óptimas condiciones de trabajo, se procedió con la ejecución de la práctica de laboratorio llamada “Prueba de Presión Capilar”, la cual se la realizaba sin complicaciones hasta el 2013, en el laboratorio de la FICT-ESPOL, hasta que fue dada de baja por personal encargado del laboratorio, al notar que este dejó de funcionar.

3.1.1. Limpieza de núcleos y la importancia.

Los núcleos o llamados también plugs, son pequeñas muestras de roca que son de tamaños diferentes de manera cilíndrica, estos son examinados para establecer diferentes propiedades petrofísicas de la roca reservorio, en los

campos petroleros estos núcleos provienen de muestras más grandes denominados “testigos” que extraídos de yacimientos con fluidos originales y que muchos casos se conservan manteniendo las propiedades de presión y temperatura del pozo para la ejecución de análisis del contenido de fluidos.

3.1.2. Proceso para la limpieza de núcleos.

Para realizar la limpieza de los núcleos, se debe contar con los plugs ya cortados con especificaciones de acuerdo al uso que se le va a dar, para que estos plugs calcen en los diferentes equipos que se va a trabajar, para la “prueba de presión capilar” en plato poroso, no importa su longitud ni su diámetro, ya que el plato donde van a ser colocados tiene un diámetro de 2.49 cm³ y una altura de 4.48 cm³, una que tengamos las muestras (PLUGS) que van a ser sometidos a la limpieza de núcleos se procede al armado Soxhlet, el cual está conformado por:

- Balón (500 o 1000 ml.), lleno con 375 ml. de tolueno.
- Reverbero o manto de calentamiento.
- Refrigerante.
- Porta muestra.
- Soporte universal.
- Colocar lubriscal en todas las uniones.

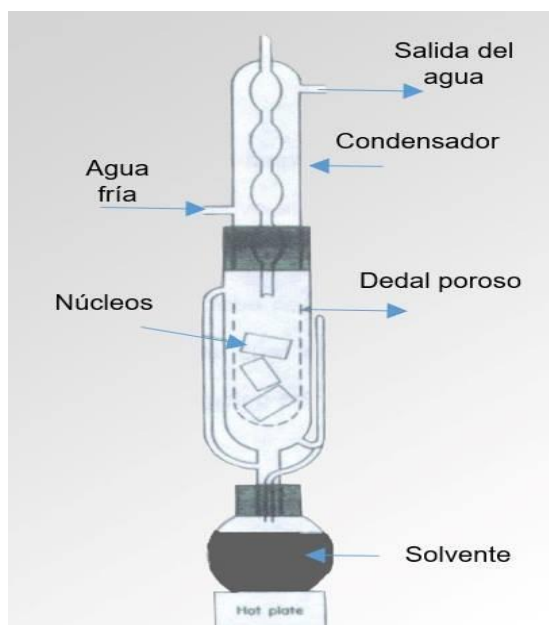


Ilustración 36 Equipo de limpieza de núcleos

Fuente: Diseño y Calibración de un Equipo para Medición de Presión Capilar por Steven Dickens

Se debe dejar las muestras con el reverbero a su máxima capacidad por el tiempo que sea necesario, hasta que los núcleos estén completamente limpios (tolueno limpio).

Poner las muestras en el horno convencional a una temperatura de 85 °C (185 °F) por un lapso de tiempo de 6 a 12 horas.

3.1.3. Secado de núcleos

Para proceder al secado de los núcleos, una vez ya hayan pasado previamente por la limpieza de núcleos con el equipo de SOXHLET, se procede con el

calentamiento de los cristales que ayudan con el secado de los núcleos, estas piedras se las puede poner en el horno a temperatura de 200° Celsius por 3 minutos, o en un horno microondas por (3-4) minutos, se coloca en el fondo del plato para secado de núcleos las piedras a temperatura ambiente y sin humedad, luego procedemos a colocar una rejilla metálica para colocar los núcleos, en la parte superior del recipiente se coloca un caucho antes de cerrar la tapa, ya que sin este caucho, la tapa procederá a cerrarse y no podrá abrirse con facilidad, este proceso de secado dura 72 horas aproximadamente de acuerdo a las normas API, para así poder retirar cualquier residuo del agente limpiador (TOLUENO) que se usó para la limpieza de los núcleos.

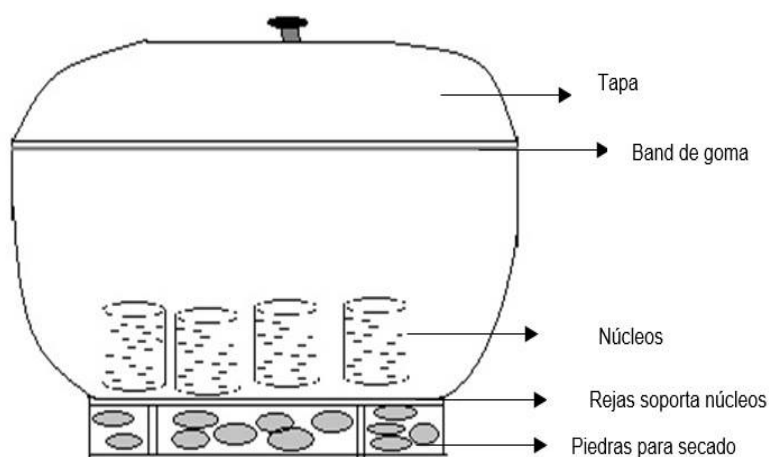


Ilustración 37 Equipo para secado de núcleos

Fuente: Diseño y Calibración de un Equipo para Medición de Presión Capilar por Steven Dickens

3.1.4. Saturación de núcleos.

Para el proceso de saturación de núcleos, se debe tener en cuenta si los mismo están en su totalidad seco (que los núcleos hayan tenido las 72 horas de secado como lo recomienda las normas API), y luego se debe proceder al pesado de cada núcleo seco antes de realizar la saturación de los mismos; este dato de peso en seco es importante para la obtención de la curva de capilaridad.

Para el proceso de saturación se debe contar con:

- Matraz kitasatos o matraz de balón con fondo plano o redondo con capacidad de 500ml o 1000ml.
- Bureta con capacidad de 1000ml.
- Soporte universal.
- Pinzas.
- Bomba de vacío con una succión de 30psi.
- Tapón

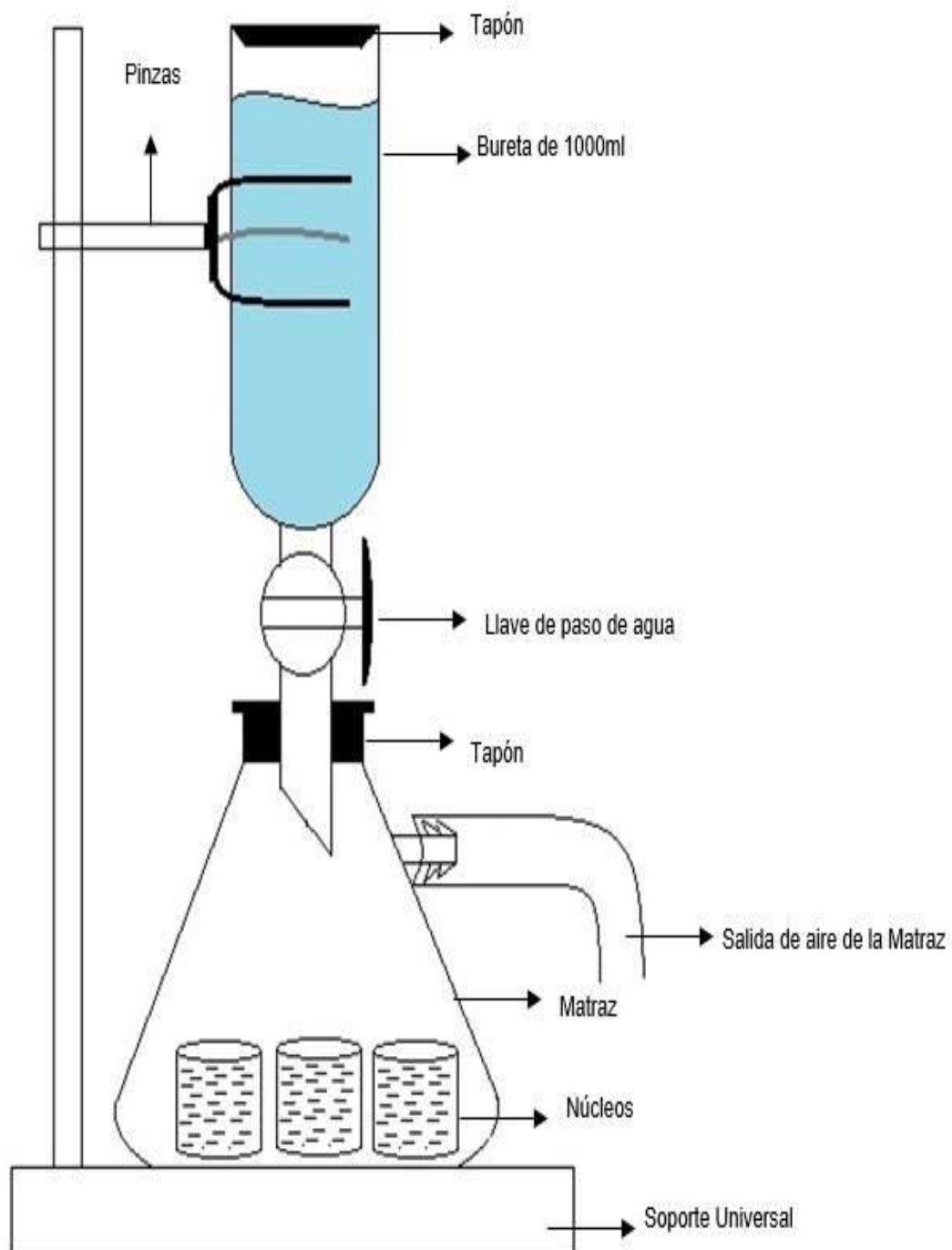


Ilustración 38 Equipo de saturación de núcleo

Fuente: Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la ESPOL

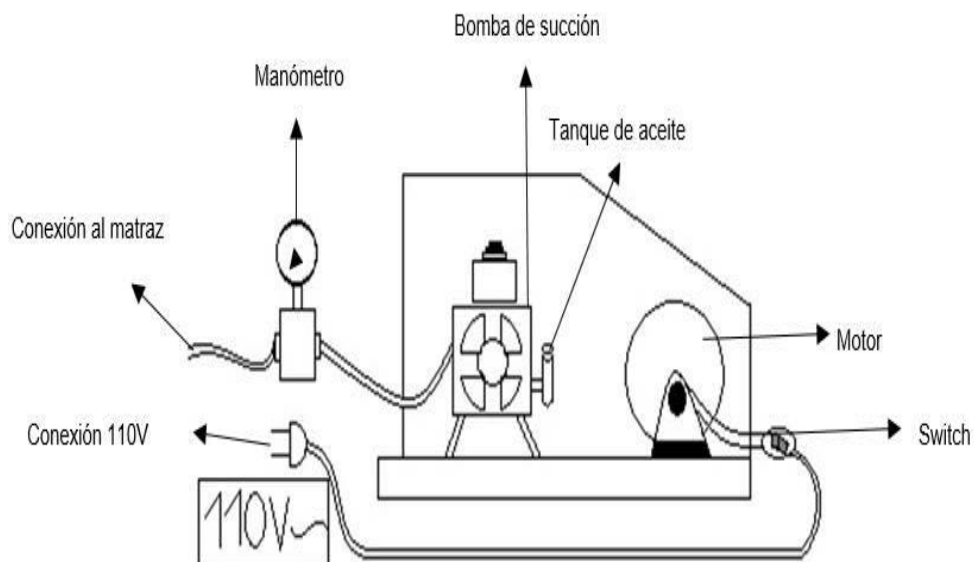


Ilustración 39 Bomba de vacío

Fuente: Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la ESPOL

Los pasos para realizar la saturación son:

Se debe colocar en una base firme el soporte universal, se introducen los plugs dentro del matraz y se procede a ubicar el matraz sobre el soporte universal, en la salida de un costado del matraz se procede a conectar la bomba de succión de vacío asegurada con una abrazadera, y en la parte superior del matraz se procede a ubicar la bureta de capacidad de 1000ml, entre el cuello del matraz y la parte inferior de la bureta se coloca un tapón donde existe una conexión de la bureta hacia la matraz y la bureta se la sujeta al soporte universal con la pinza, luego se llena la bureta con 1000ml de agua.

Cuando el equipo ya se encuentra armado, se procede a encender la bomba de vacío para retirar todo el aire de la cavidad interior del matraz donde se encuentran los plugs o núcleos, esto se lo realiza por un tiempo de 30 minutos, después de este tiempo, se paga la bomba, y se procede a abrir la llave de la bureta para dejar caer el agua de la bureta hacia la matraz dejando sumergido en agua los plugs, pero sin que se termine el gua de la bureta, una vez realizado esto, se cierra la llave de la bureta, y se deja saturando los núcleos con agua por 48 horas, de acuerdo al tiempo que se sometió los plugs en las prácticas de presión capilar con plato poroso en los laboratorios de PETROAMAZONAS, según el informe entregado por la empresa a la ESPOL.

Cuando ya se tienen los plugs saturados al 100% (después de las 48 horas de reposar en el equipo de saturación), se procede a retirar los plugs de la Matraz, luego se los pesa para obtener el peso saturación de cada plug, para proceder a la prueba de presión capilar.

3.1.5. Prueba de presión capilar

Una vez ya se tiene armado el equipo de presión capilar con todas las juntas aseguradas y que no haya fugas de gas que va a pasar por las conexiones, se procede a poner los plugs en el plato poroso, se lo cierra herméticamente, se lo asegura con 8 pernos de presión y se procede a abrir la válvula del tanque principal que contiene Dióxido de carbono (CO₂), pero las válvulas de ingreso

de gas del equipo están cerradas, luego se procede a abrir la válvula de la caja principal viendo en el manómetro que este marque la primera presión a tomar, que es de 1psi, una vez se obtenga esta presión se procede a abrir la válvula que da paso al gas de la caja principal al plato poroso, y se procede a dar paso del gas por 30 minutos, para llevar el tiempo se utiliza un cronometro digital.

Una vez haya transcurrido el tiempo, desenroscamos los pernos de la tapa del plato, retiramos los núcleos y procederemos a pesar cada plug y anotamos el valor que no indique la balanza.

Luego tomamos los plugs ya pesados y los volvemos a introducir al plato poroso, empernamos y regulamos la presión a 2psi, se abre el paso de CO₂ de la caja principal hacia el plato poroso, se espera 30 minutos, desenroscamos los pernos y retiramos los plugs y los pesamos, repetimos el proceso para las siguientes presiones: 4, 8, 15, 35, 60,100.

Una vez se obtenga los datos de peso sometido a las presiones antes mencionadas, se procede a obtener el porcentaje de saturación de agua, usando la siguiente ecuación:

Pruebas de laboratorio:

Para la muestra del campo OSO_YURALPA bloque 7, tomada a 10524.4 ft de profundidad.

La práctica fue realizada el día sábado 06 de Agosto de 2016 en el laboratorio de la FITCT-ESPOL, obteniendo los datos siguientes:

Tabla 2 datos de los núcleos de Petro-Amazonas

Datos	
Muestra	: 10524.4 Ft
Longitud	: 4.48 cm^3
Diámetro	: 2.49 cm^3
Volumen poroso	: 43.631 cm^3
Porosidad	: 16 %
Peso seco	: 46.391 Gr
Peso húmedo	: 53,473 Gr

FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

Para poder realizar la práctica, se procedió a la preparación de la salmuera, mezclando $1000cm^3$ de agua destilada con 60gr de cloruro de sodio (sal), después de la mezcla se debió pasar el fluido por papel filtro de 3.45 micras, seguido a esto se colocó la salmuera en una bureta de tamaño adecuado para

poder medir su densidad con ayuda de un hidrómetro se obtuvo el siguiente resultado:

Densidad de la salmuera:

$$\rho = \frac{141.5}{131.5 + ^\circ API} = \frac{141.5}{131.5 + 7.6} = 1.017 \text{ gr/cm}^3$$

Se procede a obtener el volumen total del núcleo:

Volumen total:

$$V_T = 2 * \pi * r^2 * h$$

$$V_T = 2 * \pi * \left(\frac{2.49}{2}\right)^2 * 4.48$$

$$V_T = 43.631 \text{ cm}^3$$

Volumen poroso:

$$V_p = \frac{\text{Peso de la muestra } 100\% \text{ ,ojada} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Densidad del fluido de saturación}}$$

$$V_p = \left(\frac{53.372 - 46.391}{1.017}\right) * \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right]$$

$$V_p = 6.962 \text{ cm}^3$$

Calculo de la porosidad de la muestra:

$$\emptyset = \frac{V_{poroso}}{V_{Total}} * 100$$

$$\emptyset = \frac{6.962cm^3}{43.631cm^3} * 100 = 16\%$$

Calculo de la Saturación de agua en los plugs:

$$S_w\% = \frac{V_w}{V_{Poroso}}$$

Para poder enunciar la ecuación en términos de peso de cada plug, tenemos:

$$V_w = \frac{\text{Peso Agua}}{\text{Densidad Agua}}$$

$$S_w\% = \frac{\text{Peso de la muestra en cada etapa} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Densidad agua}}$$

por lo tanto, la ecuación de saturación queda de la siguiente manera:

$$S_w\% = \frac{\text{Peso de la muestra en cada etapa} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{densidad de agua} * \text{volumen poroso}}$$

Resumiendo, tenemos:

$$S_w = \frac{V_{wf} - V_{wi}}{\rho_w - V_{Poroso}} * 100$$

$$S_w\% = \left(\frac{53.473 - 46.391}{1.017 * 6.962} \right) * \left[\frac{gr}{cm^3 * cm^3} \right] * 100$$

$$S_w\% = 100\%$$

Se procede a determinar la saturación de agua en porcentaje (S_w %), para los diferentes valores de peso de la muestra que se obtuvieron con las presiones a las cuales fue sometido el núcleo.

Obteniendo las siguientes tablas de datos:

Tabla 3 Datos de la prueba de laboratorio realizada en la Fict

Presión (psi)	Peso cada etapa (gr)	Saturación de agua (%)
0	53,473	100,00
1	50,988	64,91
2	49,209	39,79
4	48,148	24,81
8	47,692	18,37
15	47,455	15,02
35	47,078	9,70
60	46,968	8,15
100	46,950	7,89

FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

Tabla 4 datos de cálculos analíticos de la prueba de laboratorio realizada en la Fict

$^{\circ}API$	Densidad del agua (gr/cm^3)	Volumen poroso (cm^3)	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Volumen total (cm^3)	Porosidad (%)	Peso seco (gr)
7,600	1,017	6,962	2,49	4,48	43,631	16	46,391

FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

Dando como resultado la siguiente gráfica.

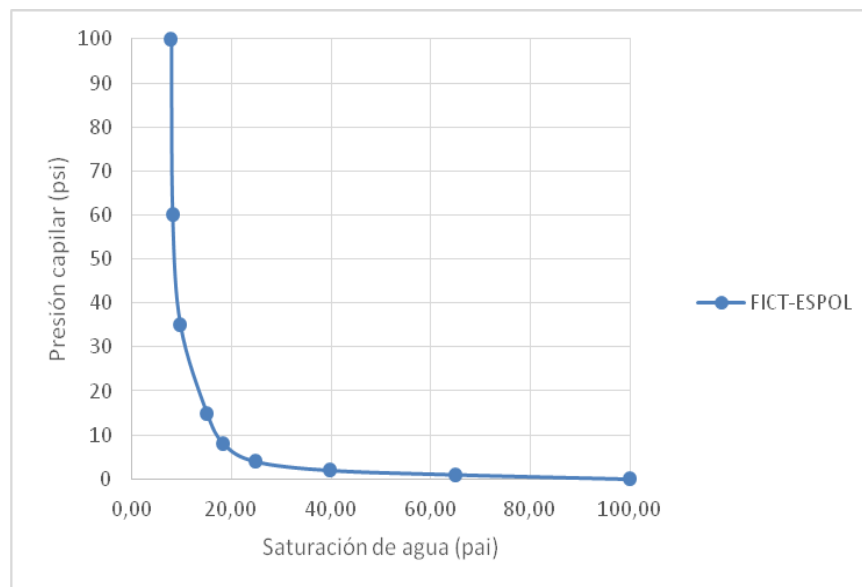


Ilustración 40 Grafica de presión capilar vs saturación de agua realizada en el laboratorio de la Fict-Espol

FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

Obteniendo un $S_{wi} = 7.89\%$ (saturación de agua irreductible).

Los datos proporcionados por la empresa PETROAMAZONAS EP son:

Tabla 5. Datos obtenidos en los laboratorios de Petroamazonas

Presión (psi)	Saturación de agua (S_w %)
0	100
1	64,8
2	39,8
4	24,9
8	18,3
15	14,9
35	9,7
60	8,2
100	7,8

FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

Donde la gráfica se manifiesta de la siguiente manera:

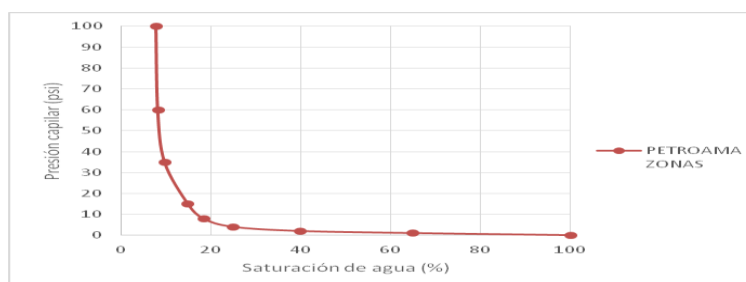


Ilustración 41 gráfica de presión capilar vs saturación de agua en los laboratorios de Petroamazonas

FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

Obteniendo un $S_{wi} = 7.8 \%$ (Saturación de agua irreductible)

Luego se calculó el error para tener una perfecta calibración del equipo, tomando como dato teórico, el S_{wi} de PETROAMAZONAS EP, y dato práctico el S_{wi} de la prueba en el laboratorio de la FICT-ESPOL.

$$\% \text{ ERROR} = \left| \frac{\text{Valor teórico} - \text{Valor de la práctica}}{\text{Valor teórico}} \right| * 100$$

$$\% \text{ ERROR} = \left| \frac{7.8 - 7.89}{7.8} \right| * 100$$

$$\% \text{ ERROR} = 1.2\%$$

El equipo ha sido calibrado con éxito, teniendo un error de $\pm 1.2\%$, en la prueba realizada del laboratorio de la FICT-ESPOL, teniendo como gráficamente se muestra en la siguiente ilustración:

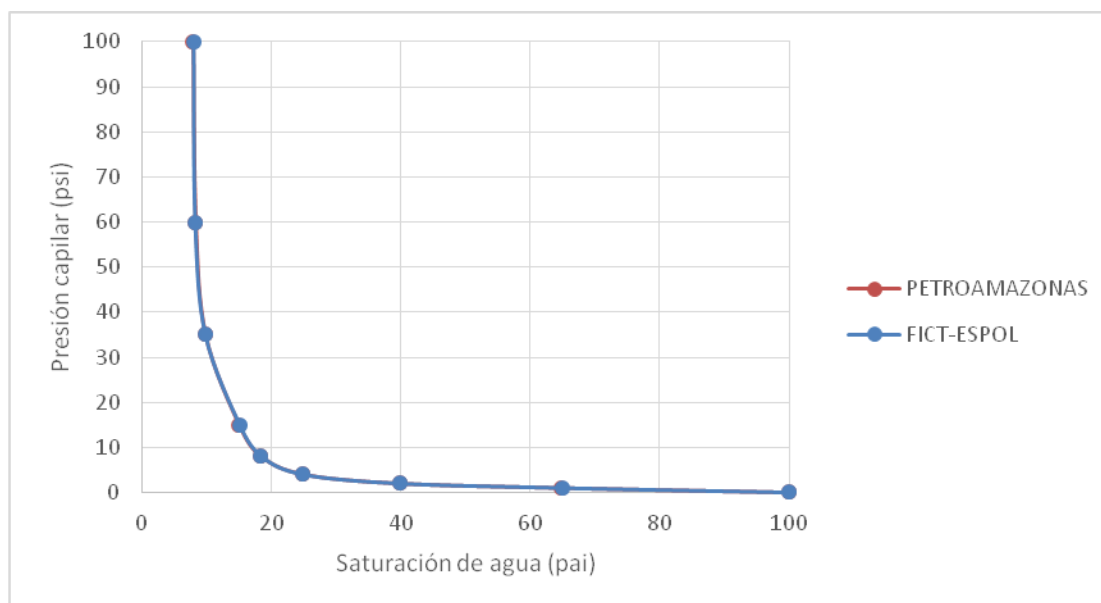


Ilustración 42 curvas formadas por los datos obtenidos de los equipos de Petro-Amazona y del laboratorio de la Fict

FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

Como se puede observar, la tendencia de ambas gráficas, son muy similares, por ese motivo se puede concluir que el equipo se encuentra 100% rehabilitado, con su valor calibrado y con una estimación adecuada para tener valores fidedignos en nuestro laboratorio.

CAPITULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Es ventajoso trabajar con este equipo ya que en la celda de saturación se puede colocar varios núcleos a la vez y poder determinar la presión capilar de todos ellos sin necesidad de hacer el proceso individualmente.
- Se puede apreciar los resultados de la prueba que se realizó en el laboratorio de petróleos de la FICT y compararlos con los resultados que proporciono PETROAMAZONAS y llegar a la conclusión que el equipo de presión capilar fue calibrado y reparado de manera correcta, para poder obtener resultados confiables al momento de realizar las mediciones.
- El equipo de presión sirve para la obtención de curvas de presión vs saturación de agua al momento de realizar la medición de presiones.
- La variación de la pendiente en la gráfica presión capilar vs saturación de agua determina el punto de estado de saturación irreducible de agua, haciéndose prácticamente paralela al eje de las Y (presión).

- El equipo de medición de presión capilar fue correctamente reparado y calibrado para la correcta enseñanza de los futuros estudiantes que tengan que realizar la prueba en el laboratorio de Petróleos de la Fict.
- La recuperación del equipo de presión capilar demostró que los valores al momento de recuperar el equipo resultó con un considerable ahorro económico, debido al altísimo costo al comprar uno nuevo.
- Los diafragma en los reguladores de presión de (0-40) y (40-200) psi, debido al deterioro no soportaban las presiones hasta 200 psi, lo que impedía realizar las prueba de laboratorio, para esto se adquirió nuevos diafragmas con el propósito de poder trabajar con mayor exactitud y seguridad, ya que este diafragma impide que el gas se escape y pueda ocasionar algún inconveniente en la prueba.
- Se trabaja con tres manómetros para tener mayor precisión den los resultados.

4.2. RECOMENDACIONES

- Antes de comenzar la prueba de laboratorio se debe revisar que todas las conexiones de válvulas estén bien aseguradas para que no existan errores en la determinación de la presión capilar.
- Se debe trabajar en un lugar seguro en este caso en el laboratorio de petróleos con supervisión de una persona especializada en el manejo del equipo.
- Trabajar con las presiones indicadas ya que si se trabaja con presiones mayores puede ocasionar que los manómetros se descalibren o que las válvulas de los tanques de gas se congelen.
- Se puede trabajar con cualquier tipo de gas que sea inerte excepto el nitrógeno ya que es tóxico.
- Se debe cerrar bien la tapa de la celda de saturación para que no existan pérdidas de presión durante el ensayo.
- Es recomendable trabajar hasta diez núcleos máximo durante cada prueba.

- Antes de realizar cada practica asegurarse que cada núcleo primero haya sido saturado en la bomba al vacío, para asegurarse que estén debidamente saturados.
- Para realizar esta práctica se recomienda trabajar más de dos personas para que una se encargue de abrir la válvula en el tanque de gas y la otra esté abriendo y cerrando las válvulas en el equipo y toma de presiones.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Crotii, M. A. (11 de Agosto de 2003). Soluciones integrales para ingeniería de reservorio. Obtenido de inlab: http://www.inlab.com.ar/pc_general.htm

[2] Guerrero, S. D. (2007). Diseño y Calibración de un Equipo de Medición de Presión Capilar. Guayaquil.

[3] Guerrero, S. D. (2007). Diseño y Calibración de un equipo para medición de presión capilar. Guayaquil.

[4] Industrial, T. e. (2014). Medidores de Presión. Obtenido de <https://todoingenieriaindustrial.wordpress.com>

[5] Ordoñez, V. (2011). Estudio de impacto Ambiental de la Construcción de la Obra de Toma de inundaciones de Sistemas de Riesgos Pasaje-Machala. Pasaje- El Oro.

[6] Rodríguez, E. (2001). presión capilar. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/42561578/08-Presion-Capilar>

[7] Salcedo, X. (2015). Presión Capilar y Propiedades Eléctricas de la Zona Arenisca Hollín del Pozo Oso G-97.

ANEXOS

ANEXO I. INFORME EMITIDO POR LA ESPOL A PETROAMAZONAS PARA PRÉSTAMO DE NÚCLEOS



Oficio Nro. PAM-MTL-2016-0019-OFI

Quito, D.M., 21 de julio de 2016

Asunto: En atención al oficio Nro. ESPOL-FICT-OFC-0219-2016

Señor Ph. D.
David Enrique Matamoros Camposano
Decano de F I C T
ESPOL
En su Despacho

De mi consideración:

En atención a oficio Nro. ESPOL-FICT-OFC-0219-2016 de 28 de junio de 2016, mediante el cual se solicitó a la Gerencia General de PETROAMAZONAS EP lo siguiente: "(...) solicito su autorización para que el Centro de Investigaciones Quito nos facilite, en calidad de préstamo, cinco (5) plugs con sus respectivas pruebas de presión capilar (...)

(...) Aprovechando la ocasión, agradeceré su aprobación para que uno o los dos estudiantes puedan asistir al CIG para observar y aprender como se realizan estas calibraciones."

Adjunto remito en calidad de préstamo cinco (5) plugs y el Informe de Presión Capilar que se realizó en el Pozo Oso G 97 zona Hollin, adicionalmente le comunico que la visita de los estudiantes, por el momento no será factible debido a que el área solicitada se encuentra en mantenimiento.

"Suscribo el presente Oficio en virtud de la Delegación otorgada mediante Resolución No. Otros-PAM-EP-LGE-2016-00091 de 10 de mayo de 2016, por el Ing. José Cortázar Lascano, en su calidad de Gerente General encargado."

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,


Ing. Siria Eliana Rentería Landívar
JEFE DE CADENA LOGÍSTICA Y MATERIALES

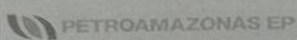
ESCUELA DE I.C.T.
No. 1
Fecha: 27/7/16
Firma: [Firma]

Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de

Quito - OP


Laboratorio de análisis especiales de núcleos. Petroamazonas EP

ANEXO II. INFORMACIÓN DEL CAMPO Y LOS NÚCLEOS (1-6) A USAR EN LA PRUEBA DE LABORATORIO

 CENTRO DE INVESTIGACIONES QUITO - OP LABORATORIO DE ANÁLISIS ESPECIALES DE NÚCLEOS INFORME DE RESULTADOS																																							
PRESIÓN CAPILAR Y PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LA ZONA ARENISCA HOLLÍN DEL POZO Oso G-97. CIQ-PCA-03-2015																																							
DATOS GENERALES:																																							
Fecha inicio: 12 / 05 / 2015			Fecha entrega: 31 / 08 / 2015																																				
Metodología (Análisis): PAM-EP-GDE-CIQ-PT-12-00.			Solicitado por: Activo Oso-Yuralpa																																				
Responsable(s): Xavier Salcedo																																							
Revisado y Aprobado por: Coordinador del CIQ / Gerente de Desarrollo (Ing. Francisco López).																																							
DATOS TECNICOS DE LAS MUESTRAS:																																							
Nombre del Activo / Campo: Oso-Yuralpa			Nombre del pozo: Oso G-97																																				
Ubicación: Bloque 7			Zona: Arenisca Hollín																																				
Coordenadas del pozo: Lon. 262091.615 - Lat. 9928512.493																																							
Total de muestras analizadas: 17 plugs horizontales																																							
Salinidad de agua de formación: 37000 ppm NaCl																																							
Equipos utilizados: Plato poroso y Resistivímetro.																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Zona</th> <th>Tope⁽¹⁾</th> <th>Base⁽¹⁾</th> <th rowspan="2">Longitud</th> <th rowspan="2">No. muestras analizadas (n)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">[pies]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hollín</td> <td>10513</td> <td>10633</td> <td>120</td> <td>17</td> </tr> </tbody> </table>					Zona	Tope ⁽¹⁾	Base ⁽¹⁾	Longitud	No. muestras analizadas (n)	[pies]		Hollín	10513	10633	120	17																							
Zona	Tope ⁽¹⁾	Base ⁽¹⁾	Longitud	No. muestras analizadas (n)																																			
	[pies]																																						
Hollín	10513	10633	120	17																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Id. Muestra</th> <th>Profundidad⁽¹⁾ [pies]</th> <th>Porosidad de roca Φ [%]</th> <th>Permeabilidad al gas Kg [md]</th> <th>Descripción macroscópica de cada muestra</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>10515.6</td> <td>12.9</td> <td>1186.0</td> <td>Arenisca de grano fino, presencia de matriz arcillosa, abundante pirita diseminada y pocas inclusiones de carbón.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>10518.6</td> <td>18.6</td> <td>3434.7</td> <td>Arenisca de grano medio a fino, alta presencia de matriz arcillosa, pocas inclusiones de carbón y pocas laminaciones arcillosas.</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>10522.8</td> <td>16.1</td> <td>2892.1</td> <td>Arenisca de grano medio, presencia de matriz arcillosa, pocas laminaciones de carbón y pinta diseminada.</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>10524.4</td> <td>15.6</td> <td>7816.4</td> <td>Arenisca de grano fino, presencia de matriz arcillosa, pocas laminaciones arcillosas y de carbón.</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>10530.8</td> <td>17.1</td> <td>3669.1</td> <td>Arenisca de grano medio a fino, presencia de matriz arcillosa, nódulos de carbón.</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>10537.8</td> <td>18.9</td> <td>6922.6</td> <td>Arenisca de grano medio a fino, presencia de matriz arcillosa, pocas laminaciones de carbón y pirita diseminada.</td> </tr> </tbody> </table>					Id. Muestra	Profundidad ⁽¹⁾ [pies]	Porosidad de roca Φ [%]	Permeabilidad al gas Kg [md]	Descripción macroscópica de cada muestra	1	10515.6	12.9	1186.0	Arenisca de grano fino, presencia de matriz arcillosa, abundante pirita diseminada y pocas inclusiones de carbón.	2	10518.6	18.6	3434.7	Arenisca de grano medio a fino, alta presencia de matriz arcillosa, pocas inclusiones de carbón y pocas laminaciones arcillosas.	3	10522.8	16.1	2892.1	Arenisca de grano medio, presencia de matriz arcillosa, pocas laminaciones de carbón y pinta diseminada.	4	10524.4	15.6	7816.4	Arenisca de grano fino, presencia de matriz arcillosa, pocas laminaciones arcillosas y de carbón.	5	10530.8	17.1	3669.1	Arenisca de grano medio a fino, presencia de matriz arcillosa, nódulos de carbón.	6	10537.8	18.9	6922.6	Arenisca de grano medio a fino, presencia de matriz arcillosa, pocas laminaciones de carbón y pirita diseminada.
Id. Muestra	Profundidad ⁽¹⁾ [pies]	Porosidad de roca Φ [%]	Permeabilidad al gas Kg [md]	Descripción macroscópica de cada muestra																																			
1	10515.6	12.9	1186.0	Arenisca de grano fino, presencia de matriz arcillosa, abundante pirita diseminada y pocas inclusiones de carbón.																																			
2	10518.6	18.6	3434.7	Arenisca de grano medio a fino, alta presencia de matriz arcillosa, pocas inclusiones de carbón y pocas laminaciones arcillosas.																																			
3	10522.8	16.1	2892.1	Arenisca de grano medio, presencia de matriz arcillosa, pocas laminaciones de carbón y pinta diseminada.																																			
4	10524.4	15.6	7816.4	Arenisca de grano fino, presencia de matriz arcillosa, pocas laminaciones arcillosas y de carbón.																																			
5	10530.8	17.1	3669.1	Arenisca de grano medio a fino, presencia de matriz arcillosa, nódulos de carbón.																																			
6	10537.8	18.9	6922.6	Arenisca de grano medio a fino, presencia de matriz arcillosa, pocas laminaciones de carbón y pirita diseminada.																																			

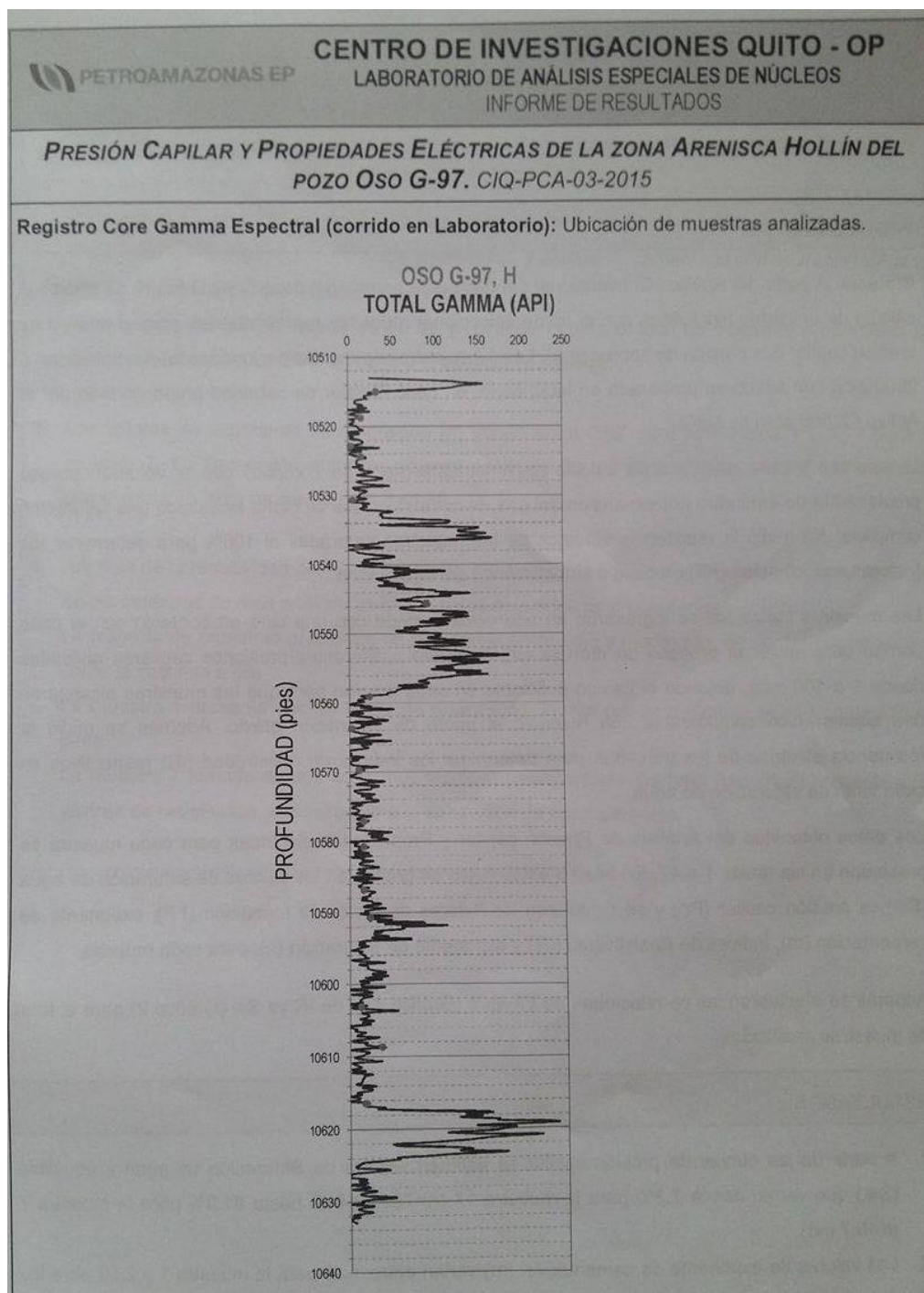
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO III. INFORMACIÓN DE LOS NÚCLEOS (7-17) A USAR EN LA PRUEBA DE LABORATORIO

 CENTRO DE INVESTIGACIONES QUITO - OP LABORATORIO DE ANÁLISIS ESPECIALES DE NÚCLEOS INFORME DE RESULTADOS				
PRESIÓN CAPILAR Y PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LA ZONA ARENISCA HOLLÍN DEL POZO Oso G-97. CIQ-PCA-03-2015				
Id. Muestra	Profundidad ⁽¹⁾ [pies]	Porosidad de roca Φ [%]	Permeabilidad al gas Kg [md]	Descripción macroscópica de cada muestra
7	10545.8	6.1	6.7	Arenisca de grano fino, alta presencia de matriz arcillosa, laminaciones y nódulos arcillosos, inclusiones de pirita diseminada.
8	10559.0	14.8	462.7	Arenisca de grano fino, alta presencia de matriz arcillosa, abundante inclusiones de pirita diseminada.
9	10563.9	16.5	2639.5	Arenisca de grano medio a fino, presencia de matriz arcillosa.
10	10569.7	15.3	1829.6	Arenisca de grano medio a fino, presencia de matriz arcillosa, pocas inclusiones de carbón y pirita diseminada.
11	10577.0	16.7	4319.8	Arenisca de grano medio a fino, presencia de matriz arcillosa, pocas inclusiones de carbón.
12	10580.7	17.9	7851.2	Arenisca de grano medio, presencia de matriz arcillosa.
13	10586.9	18.4	5349.2	Arenisca de grano medio a fino, presencia de matriz arcillosa, pocas inclusiones de carbón, poco fracturada.
14	10590.7	15.4	1332.6	Arenisca de grano fino, presencia de matriz arcillosa, laminaciones de carbón
15	10603.5	14.1	3383.1	Arenisca de grano medio a fino, presencia de matriz arcillosa, cemento calcáreo, pocas inclusiones de carbón, pocas laminaciones arcillosas.
16	10608.7	16.3	1757.2	Arenisca de grano fino, presencia de matriz arcillosa, inclusiones de carbón.
17	10616.5	18.4	7889.3	Arenisca de grano medio, presencia de matriz arcillosa, pocas inclusiones de carbón.

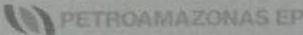
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO IV. REGISTRO CORE GAMMA ESPECTRAL (CORRIDO EN LABORATORIO)



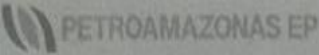
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO V. Procedimiento y resultados de la prueba de presión

 CENTRO DE INVESTIGACIONES QUITO - OP LABORATORIO DE ANÁLISIS ESPECIALES DE NÚCLEOS INFORME DE RESULTADOS
PRESIÓN CAPILAR Y PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LA ZONA ARENISCA HOLLÍN DEL POZO Oso G-97. CIQ-PCA-03-2015
PROCEDIMIENTO:
<p>Síntesis. A partir del Análisis Convencional del núcleo de corona del pozo OSO G-97, H, se realizó el cálculo de unidades hidráulicas con el fin de seleccionar muestras representativas para el ensayo de presión capilar (sin presión de sobrecarga). Las 17 muestras de roca seleccionadas fueron saturadas a 2800 psig con salmuera preparada en laboratorio, en base al valor de salinidad proporcionado por el Activo (37000 ppm de NaCl).</p> <p>El volumen poroso saturado se calculó gravimétricamente y se comparó con el volumen poroso previamente determinado por expansión del gas, para verificar que se había alcanzado una saturación completa. Se midió la resistencia eléctrica de las muestras saturadas al 100% para determinar los factores de formación (FF) en base a la resistividad del agua salina.</p> <p>Las muestras saturadas se ingresaron en una celda cerrada con una cara en contacto con el plato poroso para iniciar el proceso de drenaje aire-salmuera a diferentes presiones capilares aplicadas desde 1 a 100 psig, dejando el tiempo suficiente en cada presión para que las muestras alcanzaran una desaturación considerable con respecto al punto de saturación previo. Además se midió la resistencia eléctrica de las muestras para determinar los Índices de resistividad (IR) respectivos en cada valor de saturación de agua.</p> <p>Los datos obtenidos del Análisis de Presión capilar y Propiedades eléctricas para cada muestra se presentan en las tablas 1 a 17. En base a estos datos se graficaron los valores de saturación de agua (S_w) vs presión capilar (P_c) y se calcularon los valores de factor de formación (FF), exponente de cementación (m), Índices de Resistividad (IR) y exponente de saturación (n), para cada muestra.</p> <p>Además se efectuaron las correlaciones de FF vs ϕ (Gráfico 1) y de IR vs S_w (Gráfico 2) para el total de muestras analizadas.</p>
RESULTADOS:
<ol style="list-style-type: none"> 1. A partir de las curvas de presión capilar se estiman valores de Saturación de agua irreductible (S_{wi}) que varían desde 7.3% para la muestra 17 ($K=7889.3$ md) hasta 61.3% para la muestra 7 ($K=6.7$ md). 2. Los valores de exponente de cementación (m) varían entre 1.35 para la muestra 1 y 2.03 para las muestras 16 y 17.

FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

**ANEXO VI. CONTINUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE PRESIÓN
CAPILAR**

 **CENTRO DE INVESTIGACIONES QUITO - OP**
LABORATORIO DE ANÁLISIS ESPECIALES DE NÚCLEOS
INFORME DE RESULTADOS

***PRESIÓN CAPILAR Y PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LA ZONA ARENISCA HOLLÍN DEL
POZO Oso G-97. CIQ-PCA-03-2015***

Los valores de m para la mayoría de muestras se ubican entre 1.7 y 2.0, lo cual sugiere una descripción de la roca reservorio entre ligeramente y altamente cementada (*PIRSON SYLVAIN J., (1965), Ingeniería de Yacimientos Petrolíferos*).

La correlación entre los valores de FF vs ϕ (Gráfico 1) para el total de muestras proporciona un valor promedio de m de **1.86**, en base a la ecuación de Archie.

3. Los valores de exponente de saturación (n) varían entre 0.98 para la muestra 1 y 3.17 para la muestra 7. La correlación entre los valores de IR vs Sw (Gráfico 2) para el total de muestras proporciona un valor promedio de n de **1.89**.

4. Además de la resistividad del fluido saturante, es importante considerar en efecto de la mineralogía de las muestras de roca analizadas en los datos obtenidos de propiedades eléctricas.

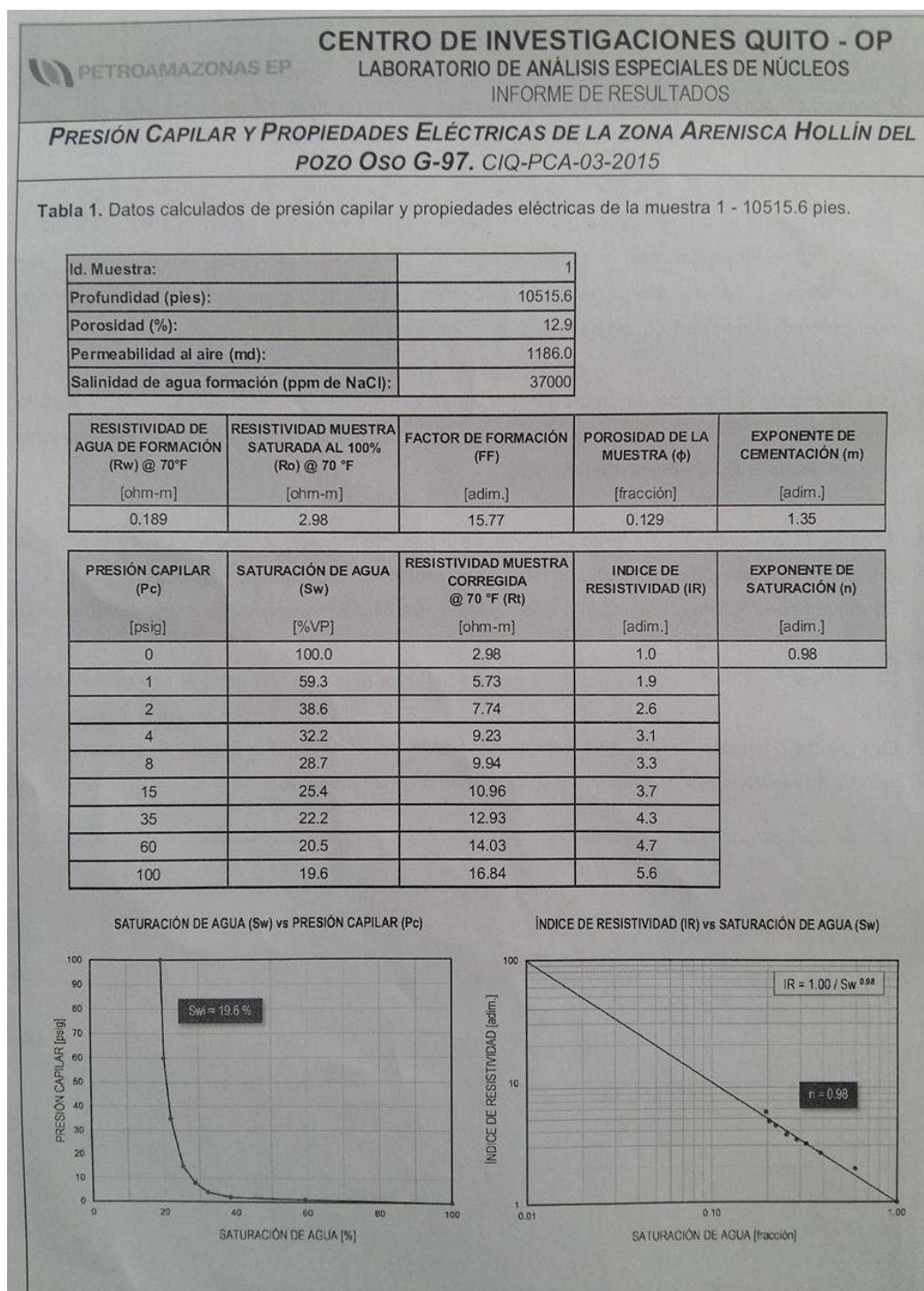
La mayoría de muestras presentan un porcentaje entre bajo y moderado, de contenido de arcillas como la caolinita e illita.

La muestra 1 presenta valores bajos de resistividad, lo que puede atribuirse al alto contenido de pirita.

La muestra 7 tomada de una zona muy arcillosa (registro Core Gamma Espectral) presenta altos valores de resistividad, con respecto a la saturación de agua presente.

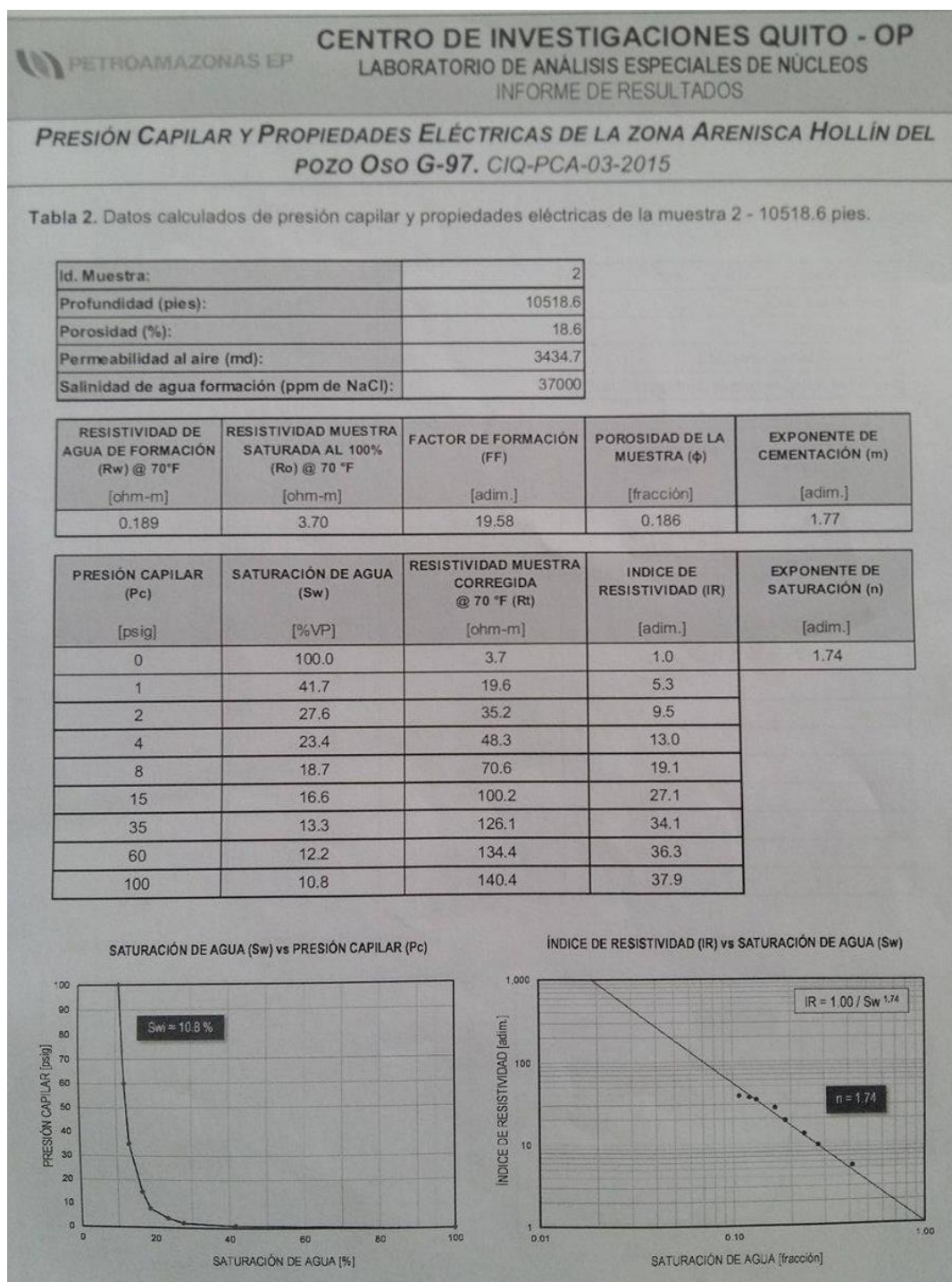
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO VII. TABLA DE RESULTADOS DEL PRIMER NÚCLEO



FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

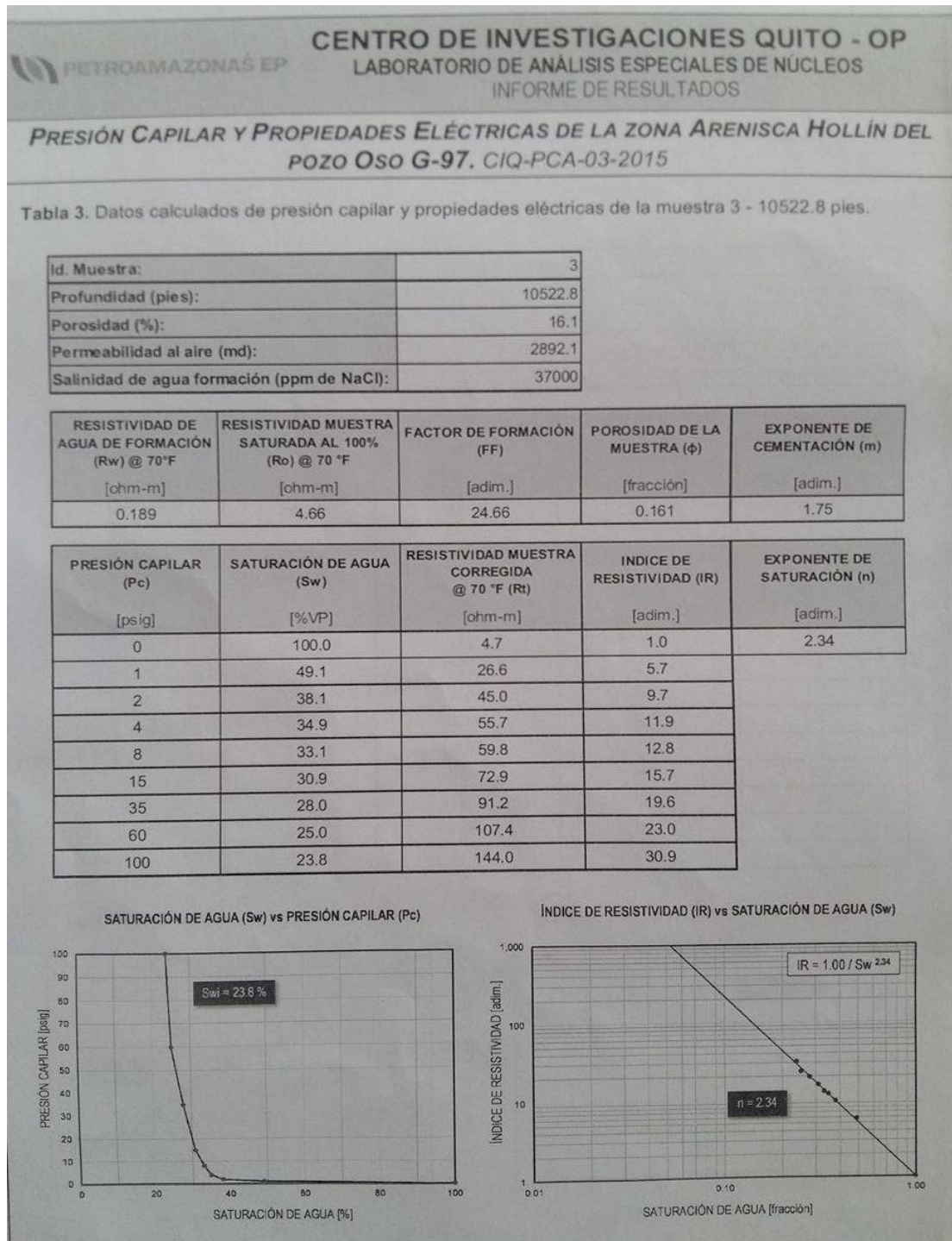
ANEXO VIII. TABLA DE RESULTADOS DEL SEGUNDO NÚCLEO



FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

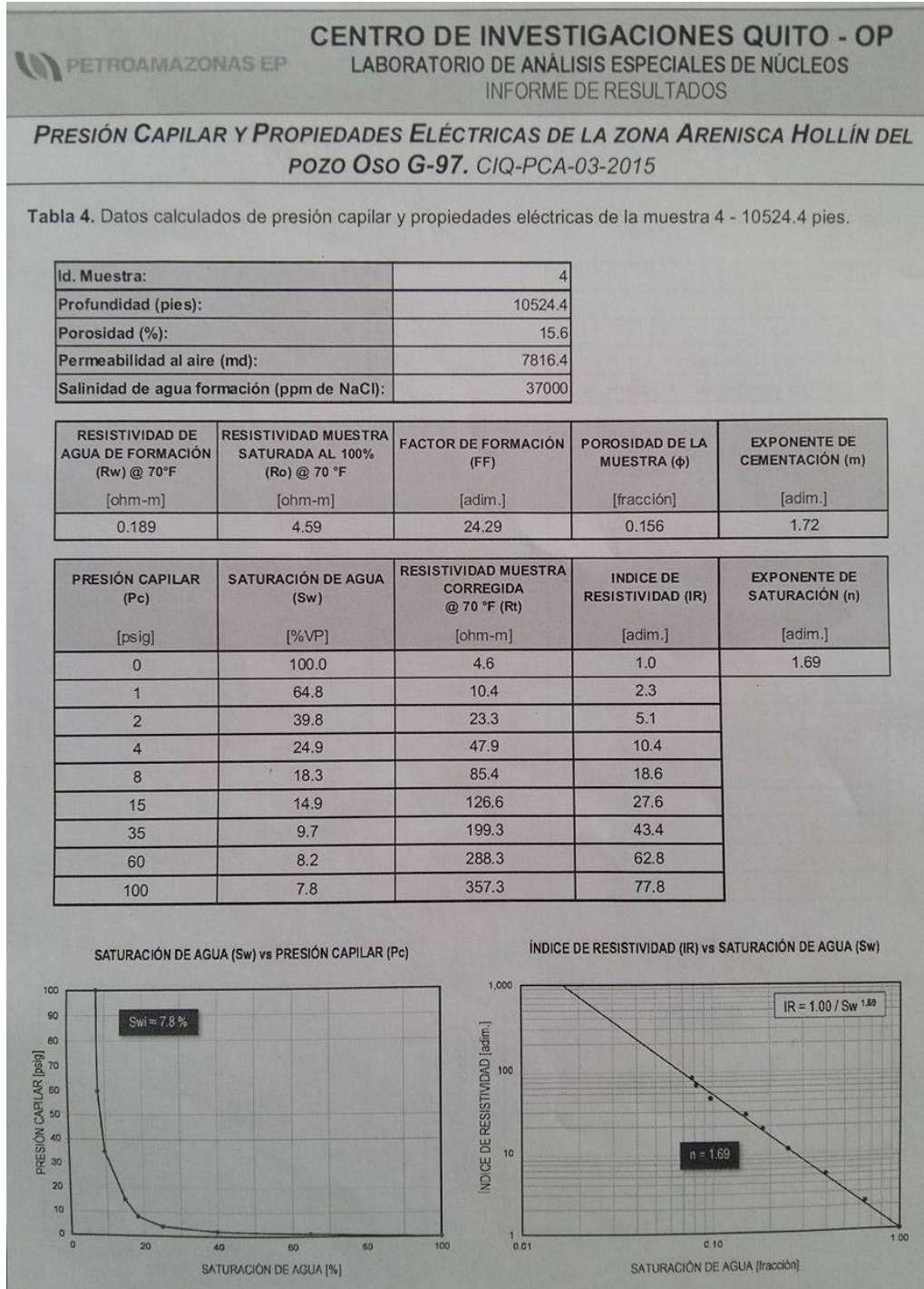
Ilustración 43 - tabla de resultados del tercer núcleo

ANEXO IX. TABLA DE RESULTADOS DEL TERCER NÚCLEO



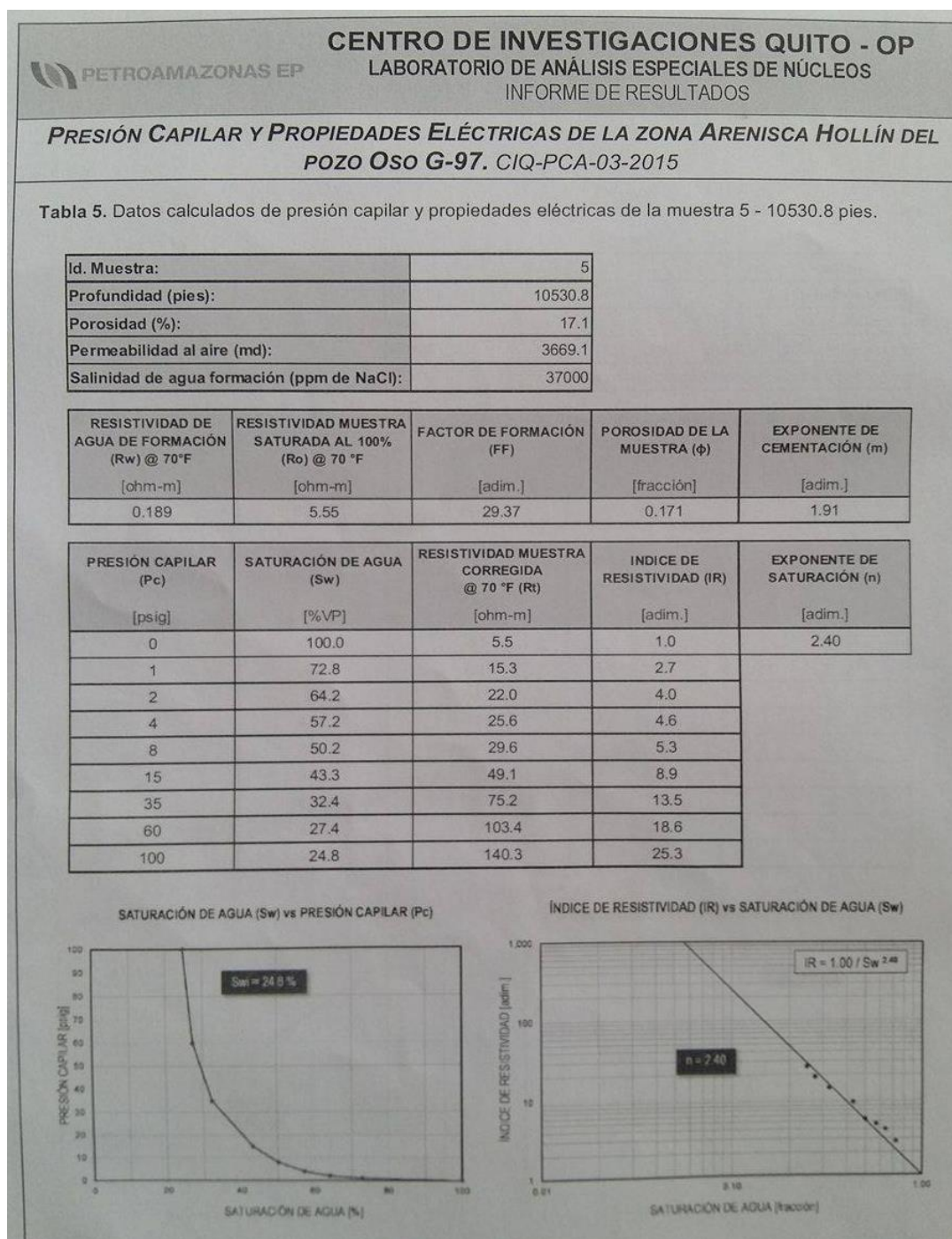
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO X. TABLA DE RESULTADOS DEL CUARTO NÚCLEO



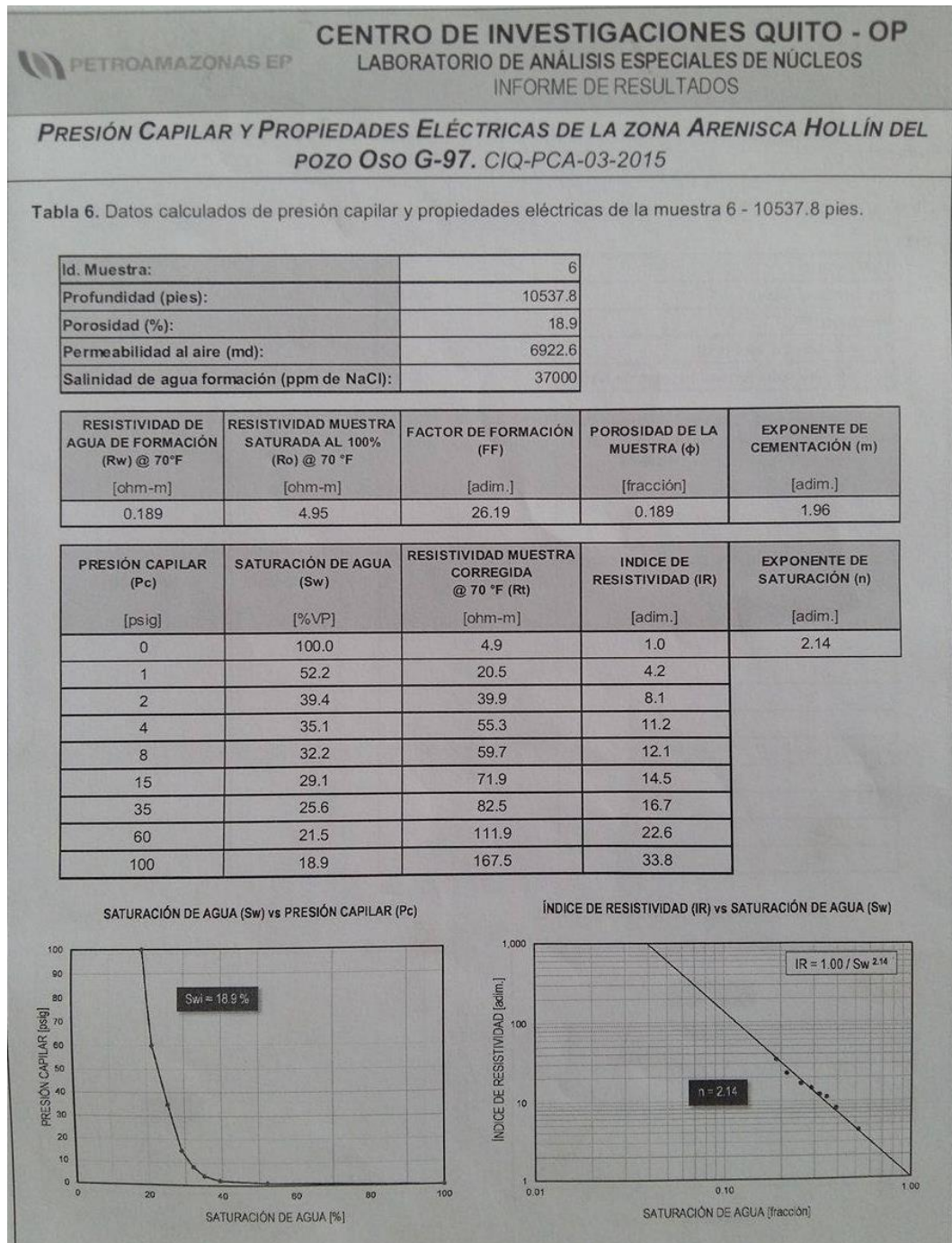
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO XI. TABLA DE RESULTADOS DEL QUINTO NÚCLEO



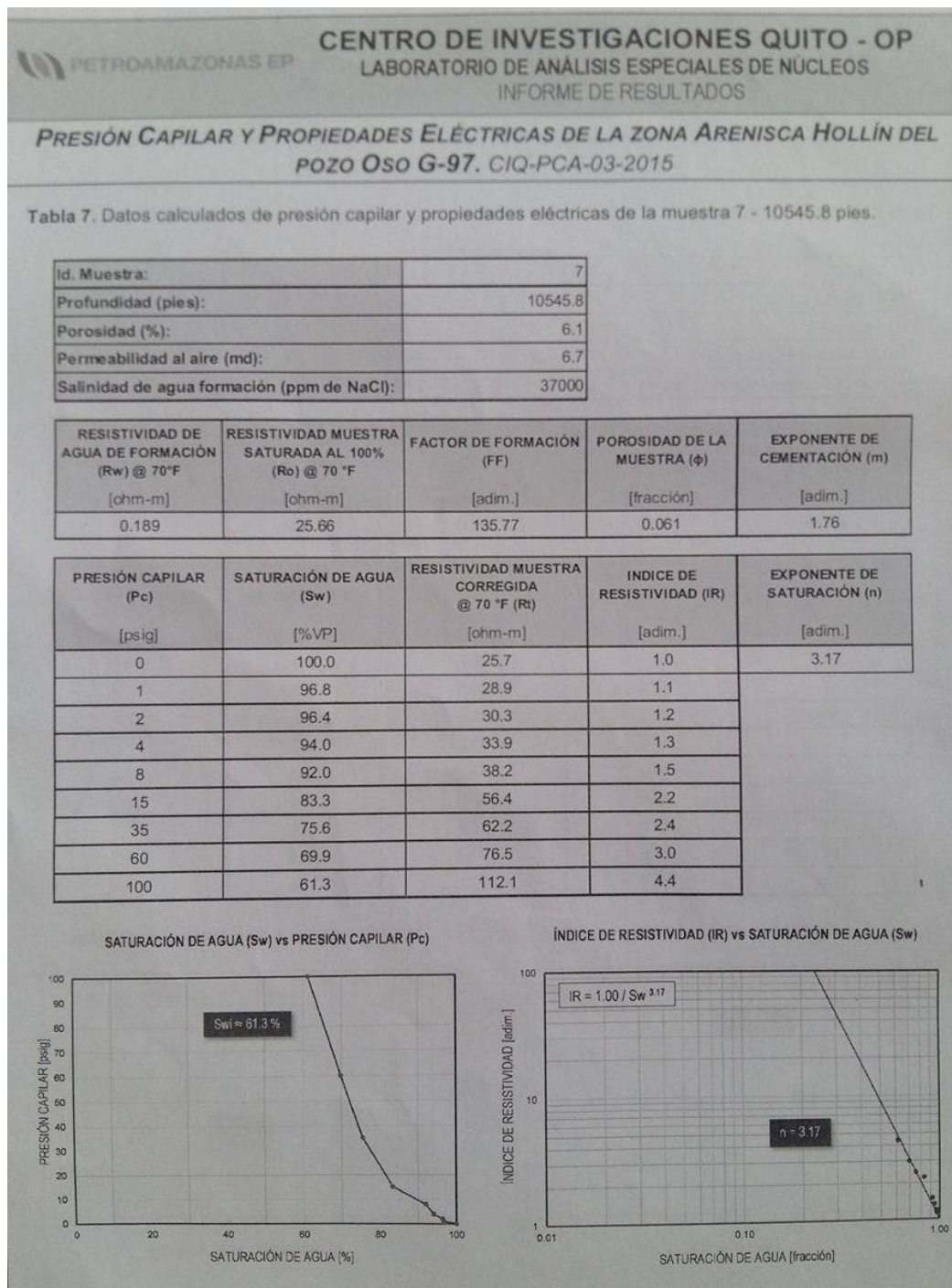
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO XII. TABLA DE RESULTADOS DEL SEXTO NÚCLEO



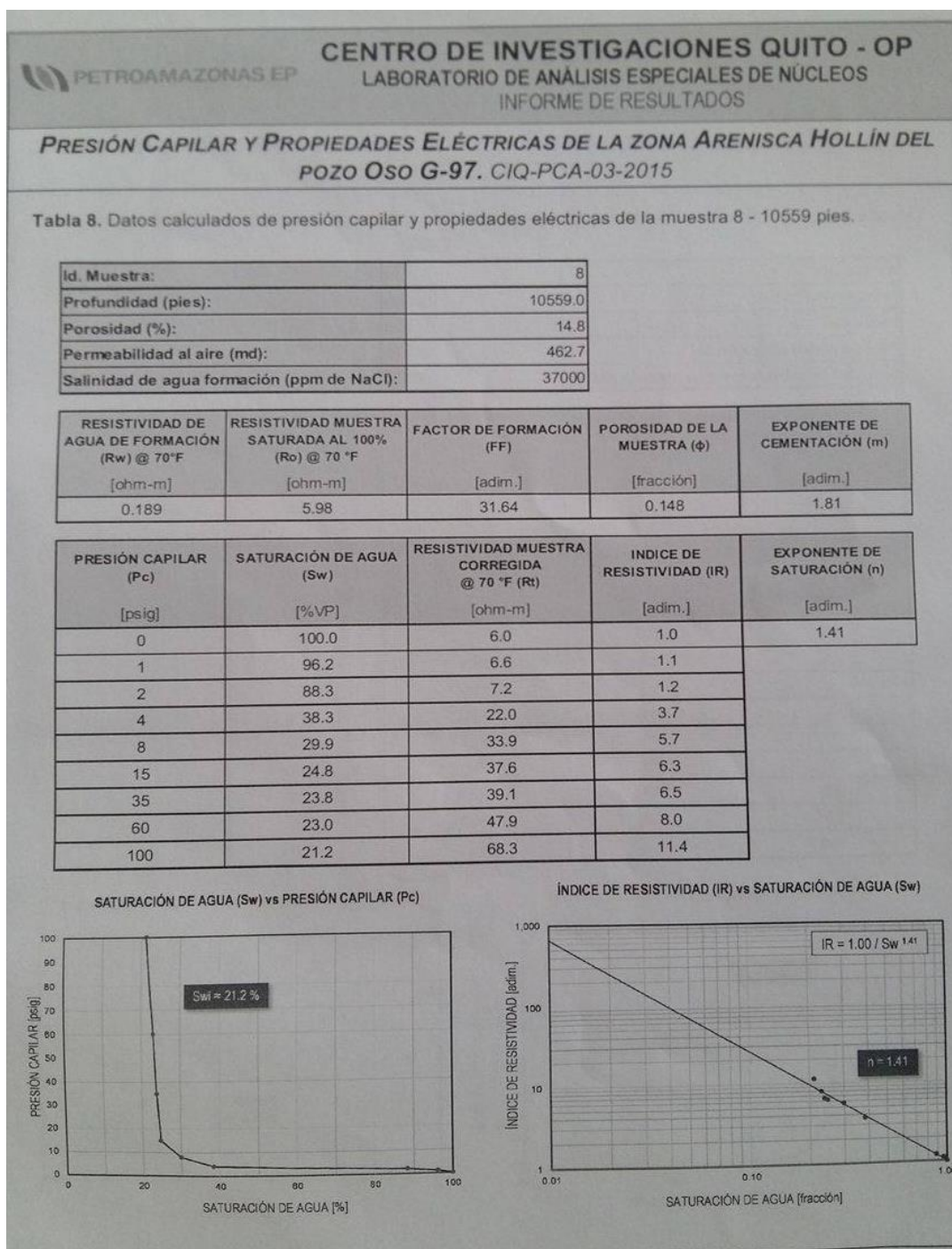
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO XIII. TABLA DE RESULTADOS DEL SÉPTIMO NÚCLEO



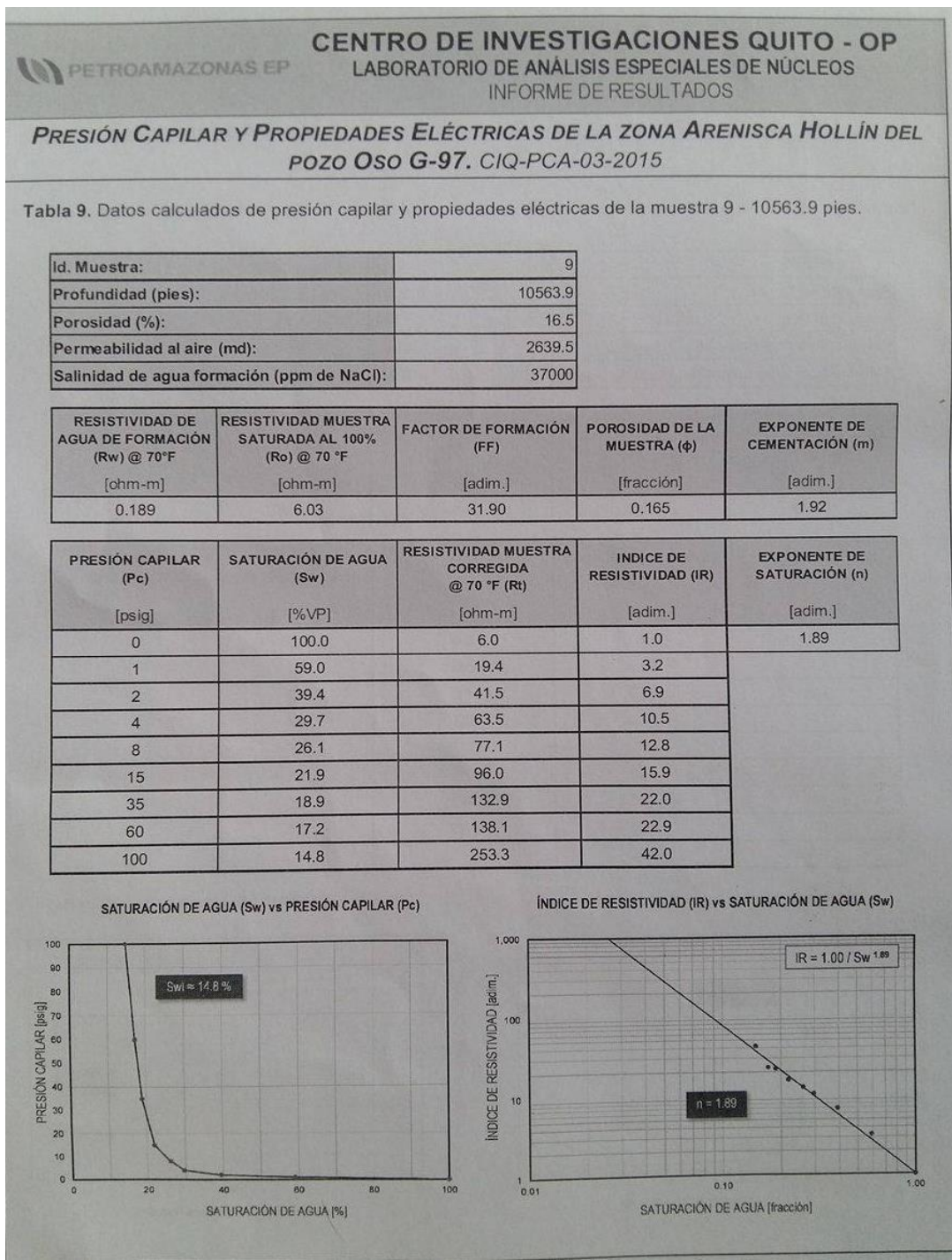
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO XIV. TABLA DE RESULTADOS DEL OCTAVO NÚCLEO



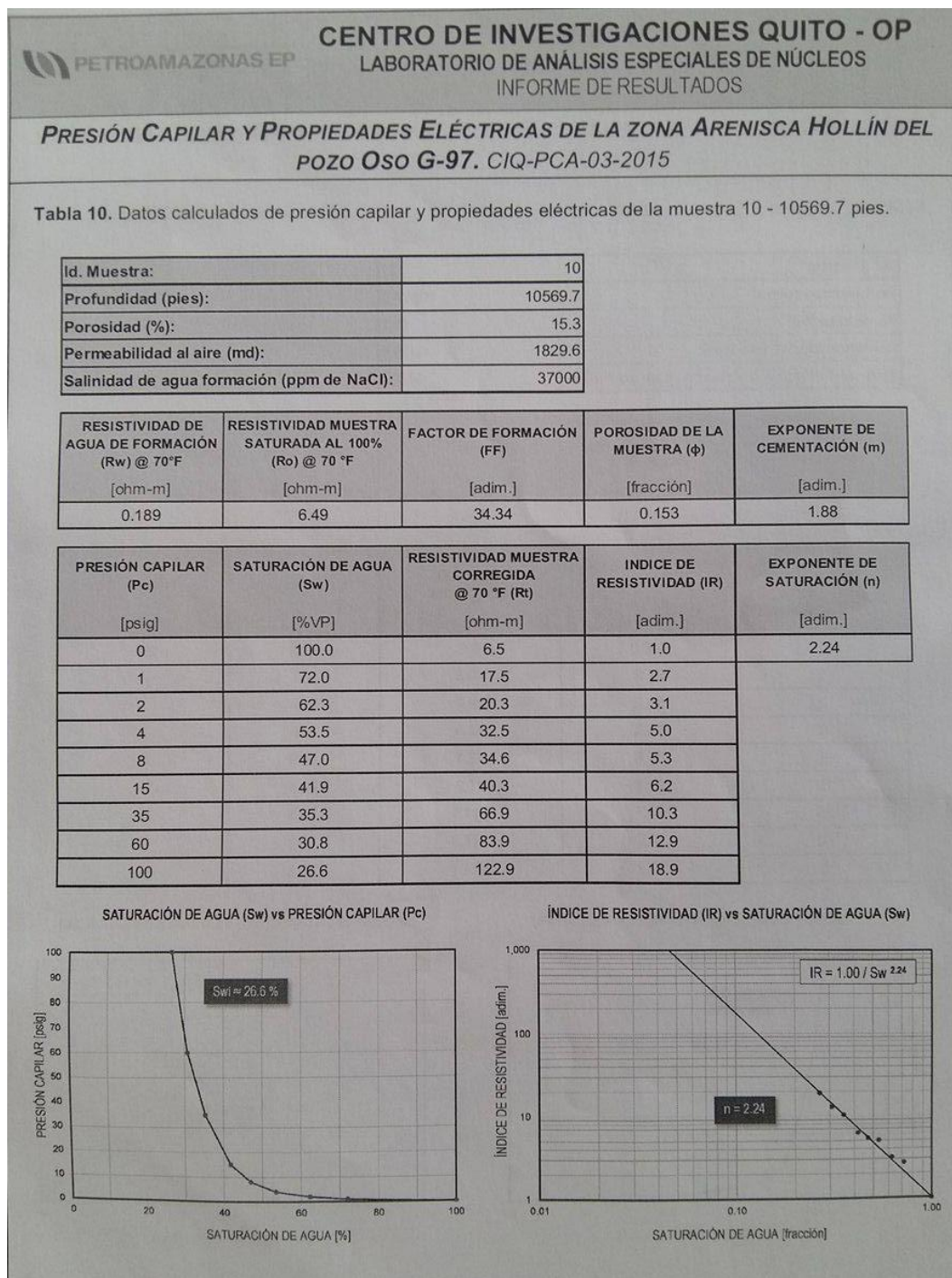
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO XV. TABLA DE RESULTADOS DEL NOVENO NÚCLEO



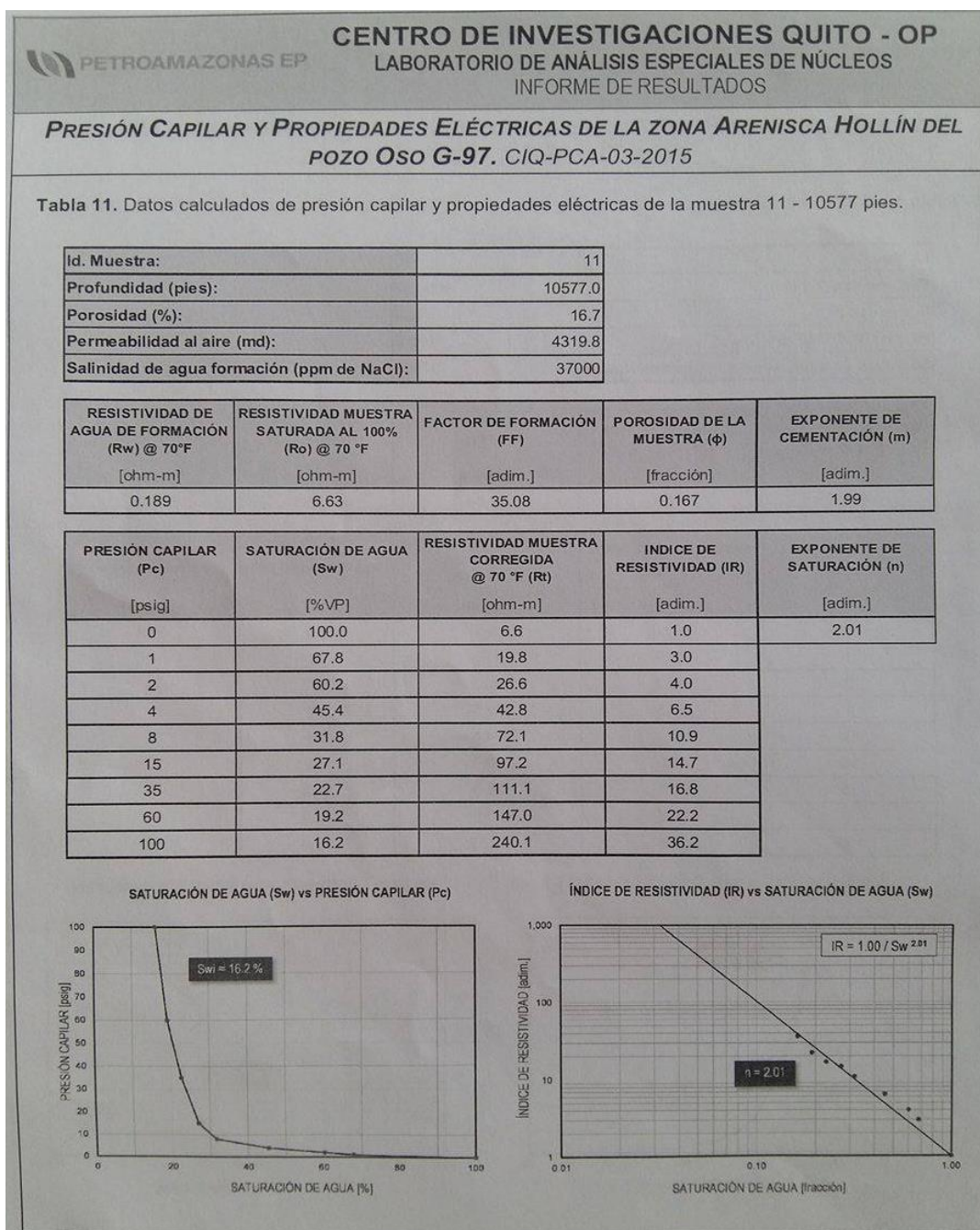
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO XVI. TABLA DE RESULTADOS DEL DÉCIMO NÚCLEO



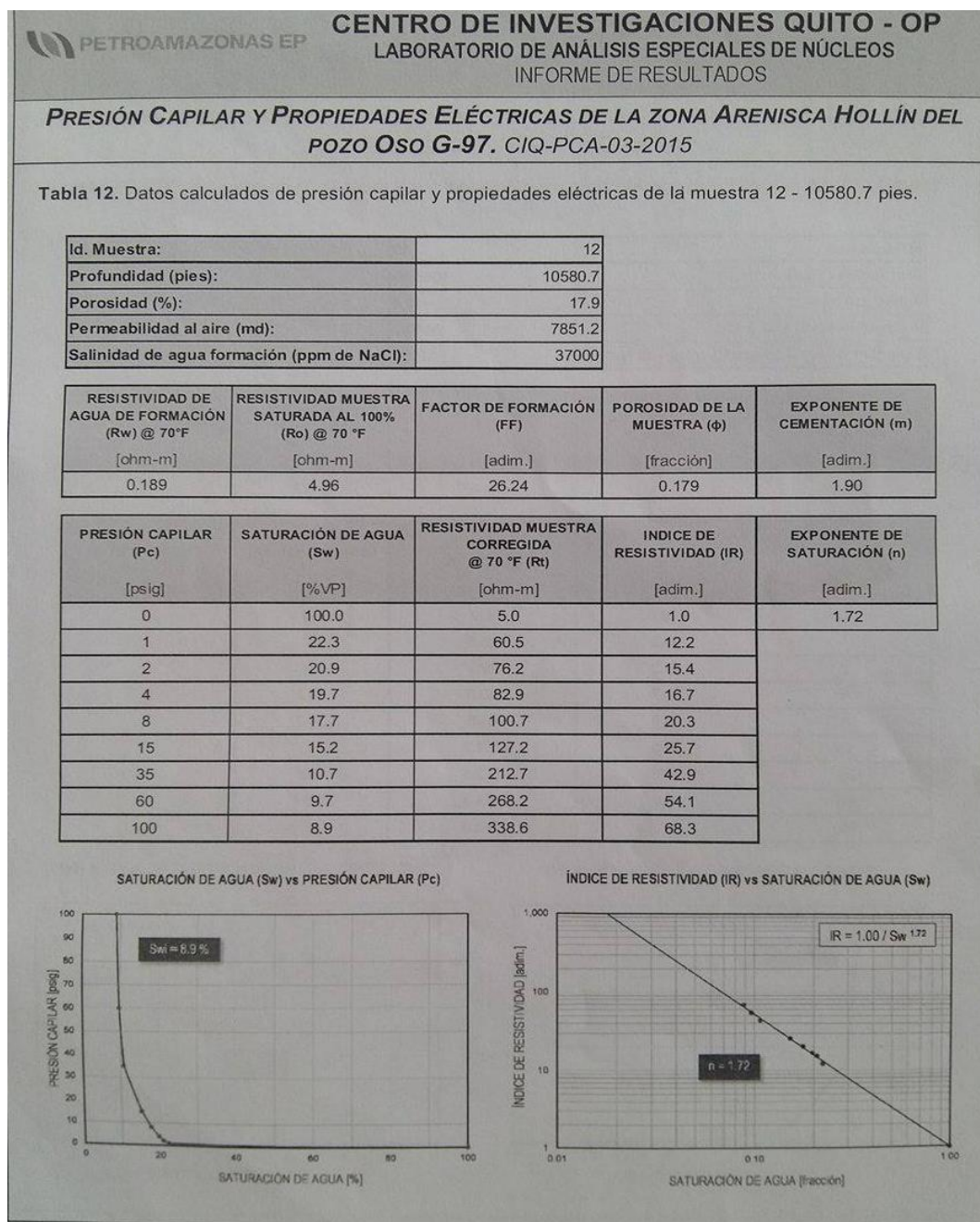
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO XVII. TABLA DE RESULTADOS DEL DÉCIMO PRIMER NÚCLEO



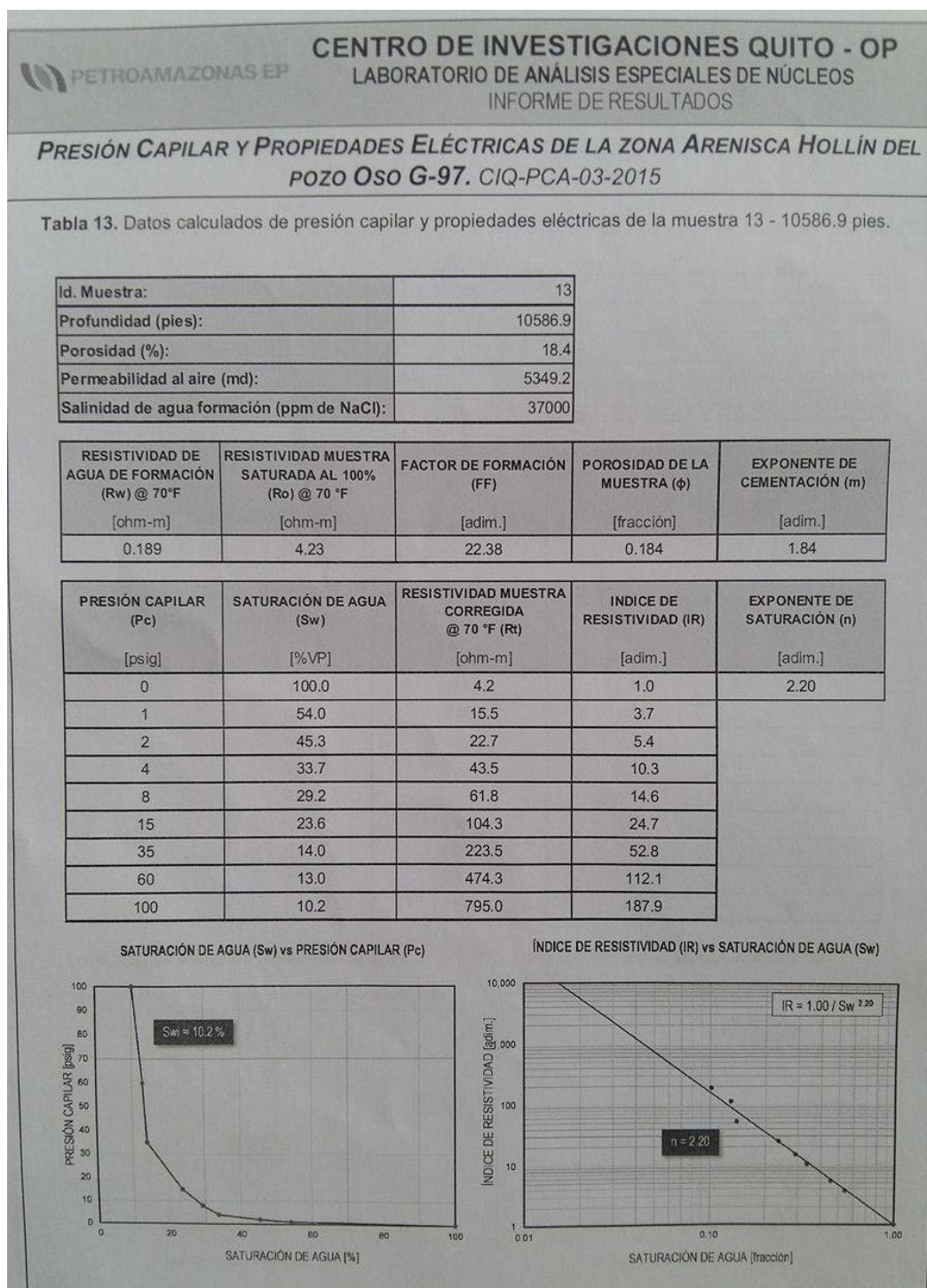
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO XVIII. TABLA DE RESULTADOS DEL DÉCIMO SEGUNDO NÚCLEO



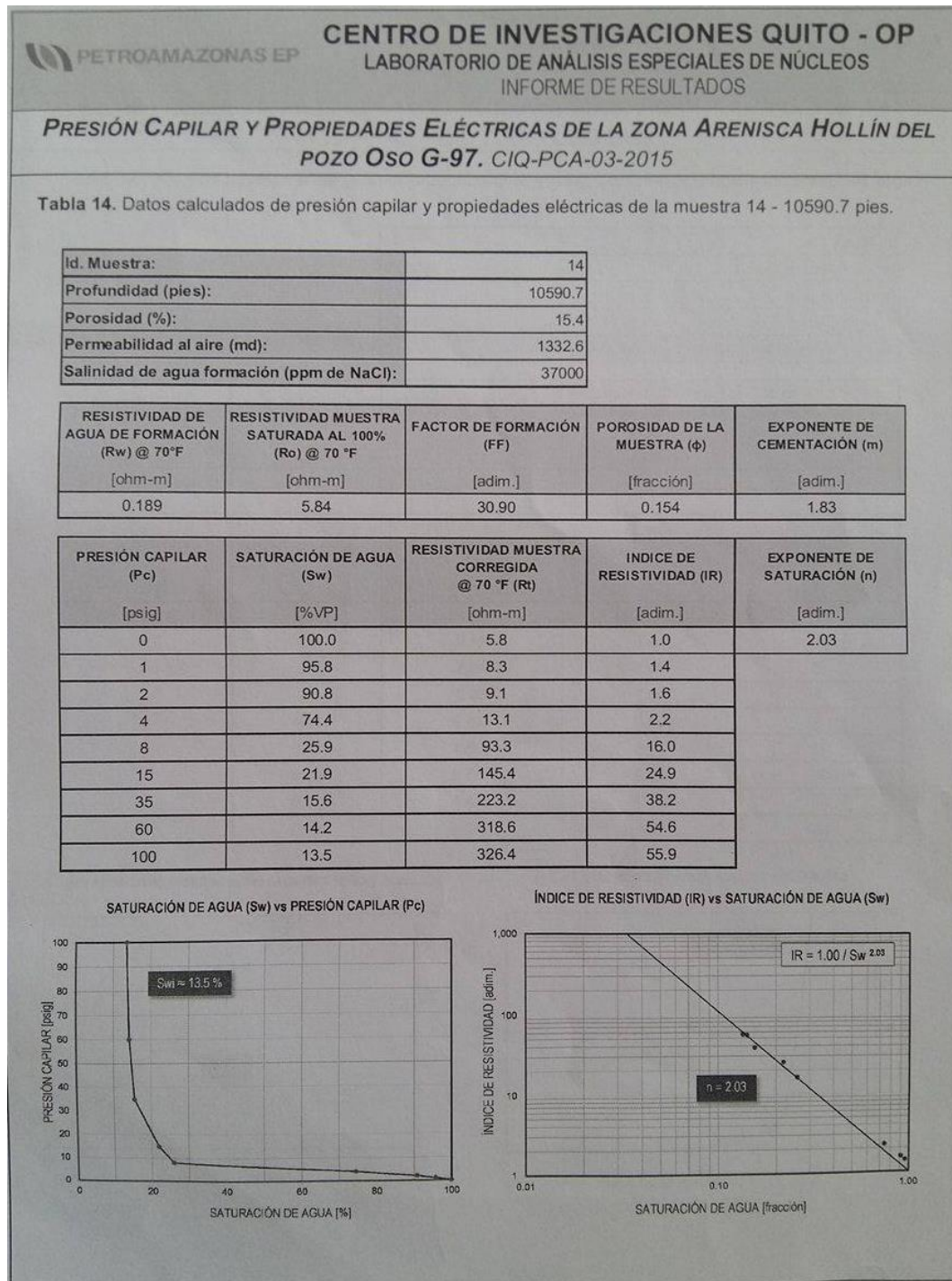
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO XIX. TABLA DE RESULTADOS DEL DÉCIMO TERCER NÚCLEO



FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

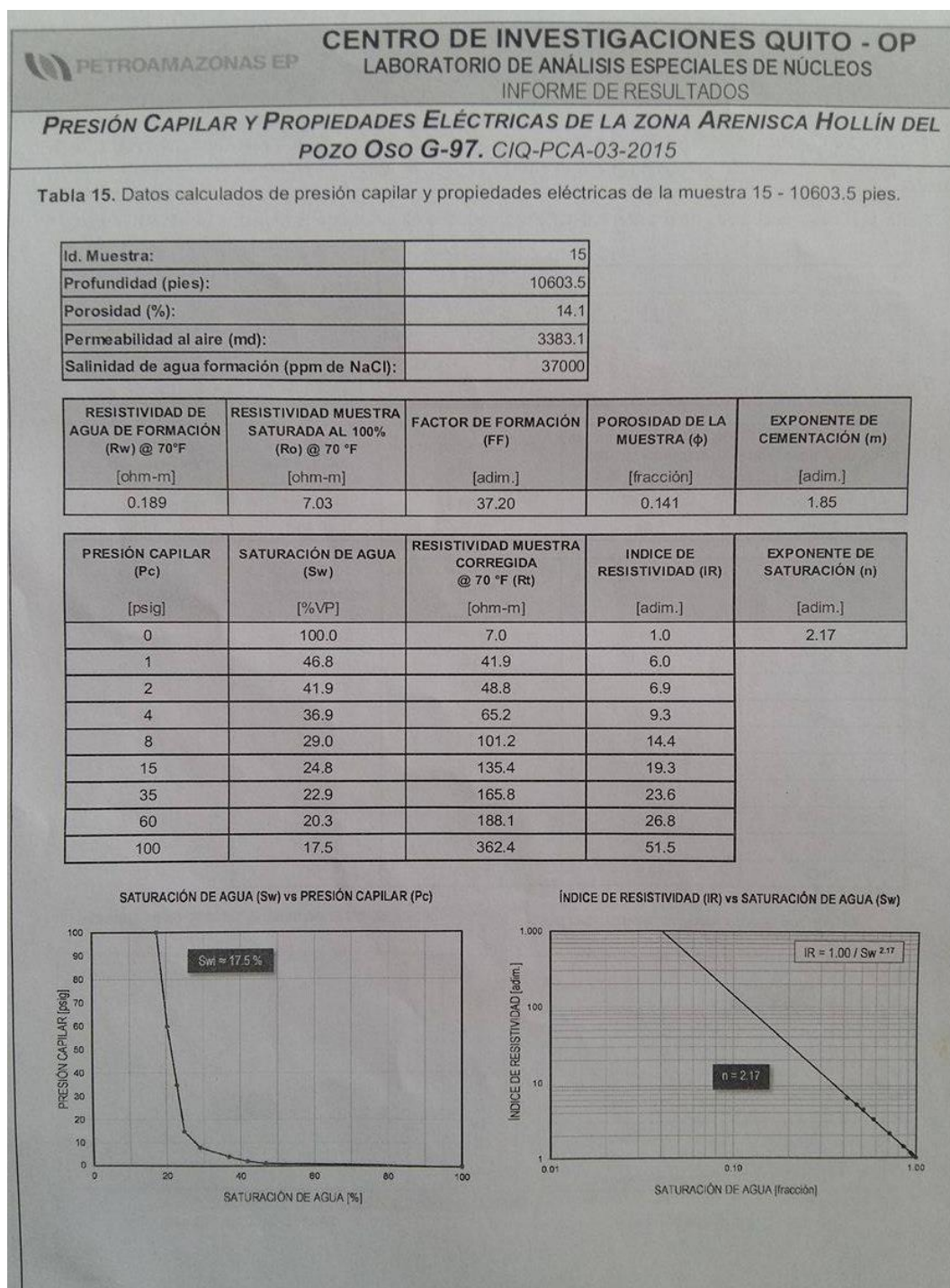
ANEXO XX. TABLA DE RESULTADOS DEL DÉCIMO CUARTO NÚCLEO



FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

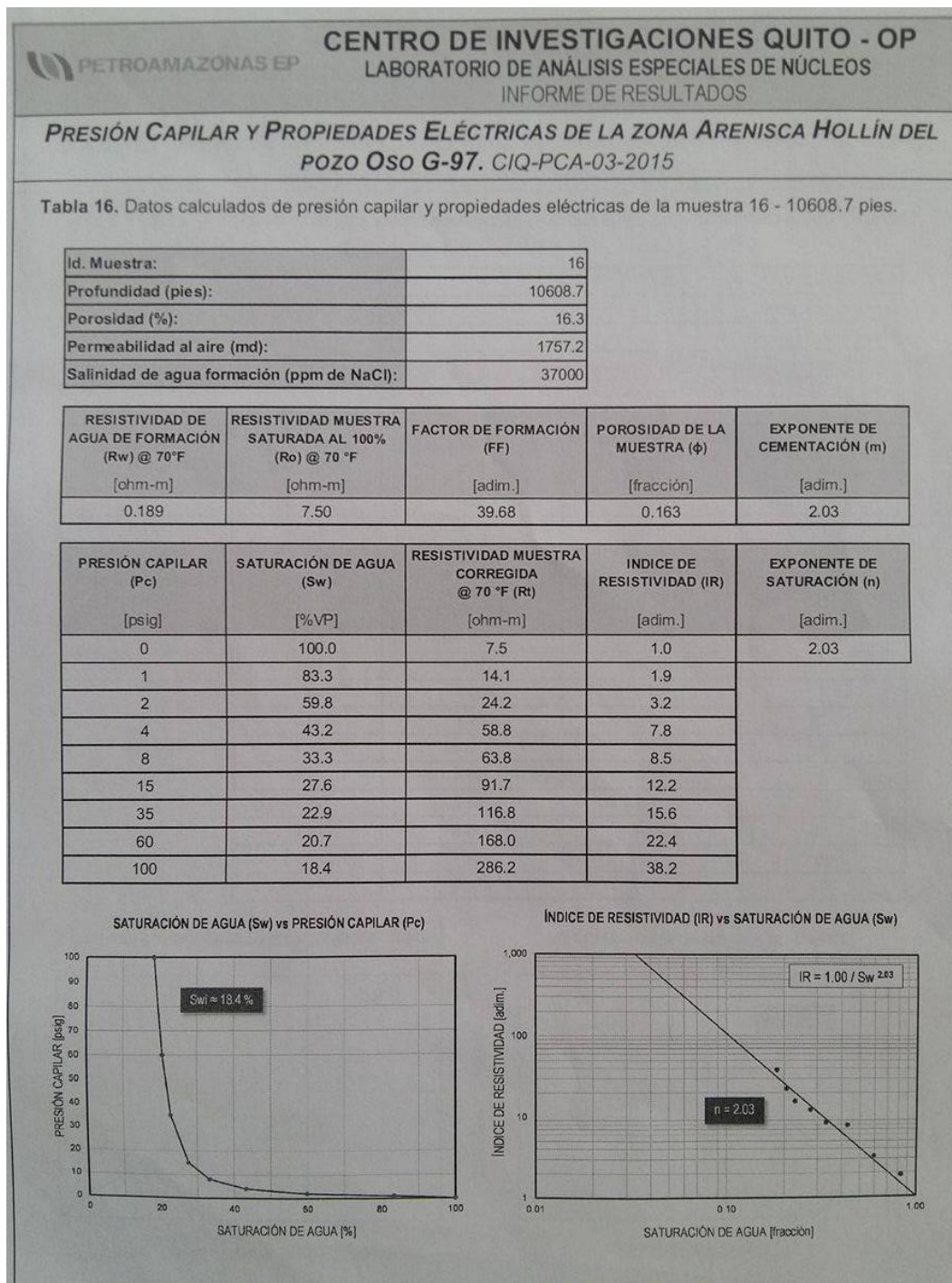
ANEXO XVI. TABLA DE RESULTADOS DEL DÉCIMO NÚCLEO

ANEXO XXI. TABLA DE RESULTADOS DEL DÉCIMO QUINTO NÚCLEO



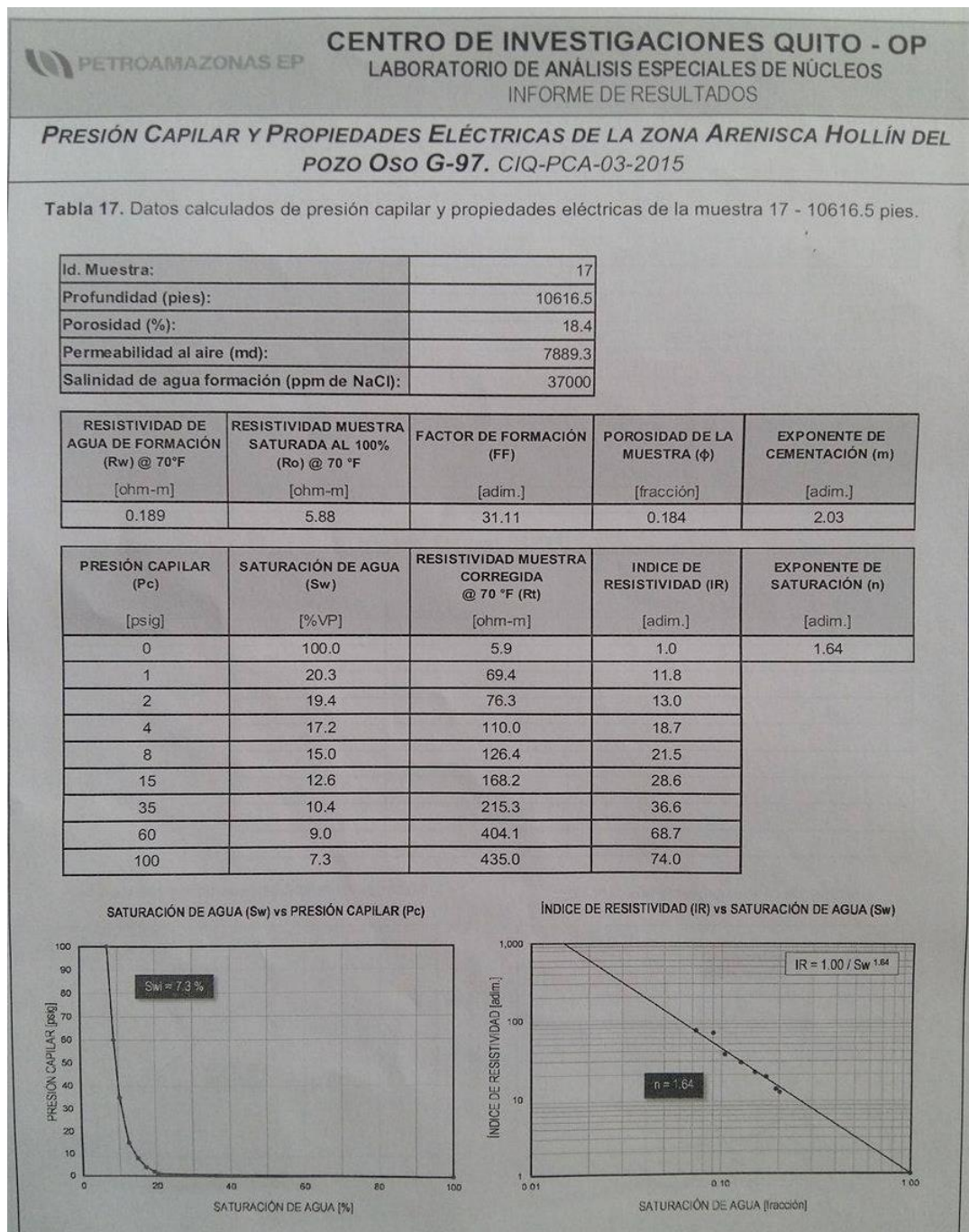
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO XXII. TABLA DE RESULTADOS DEL DÉCIMO SEXTO NÚCLEO



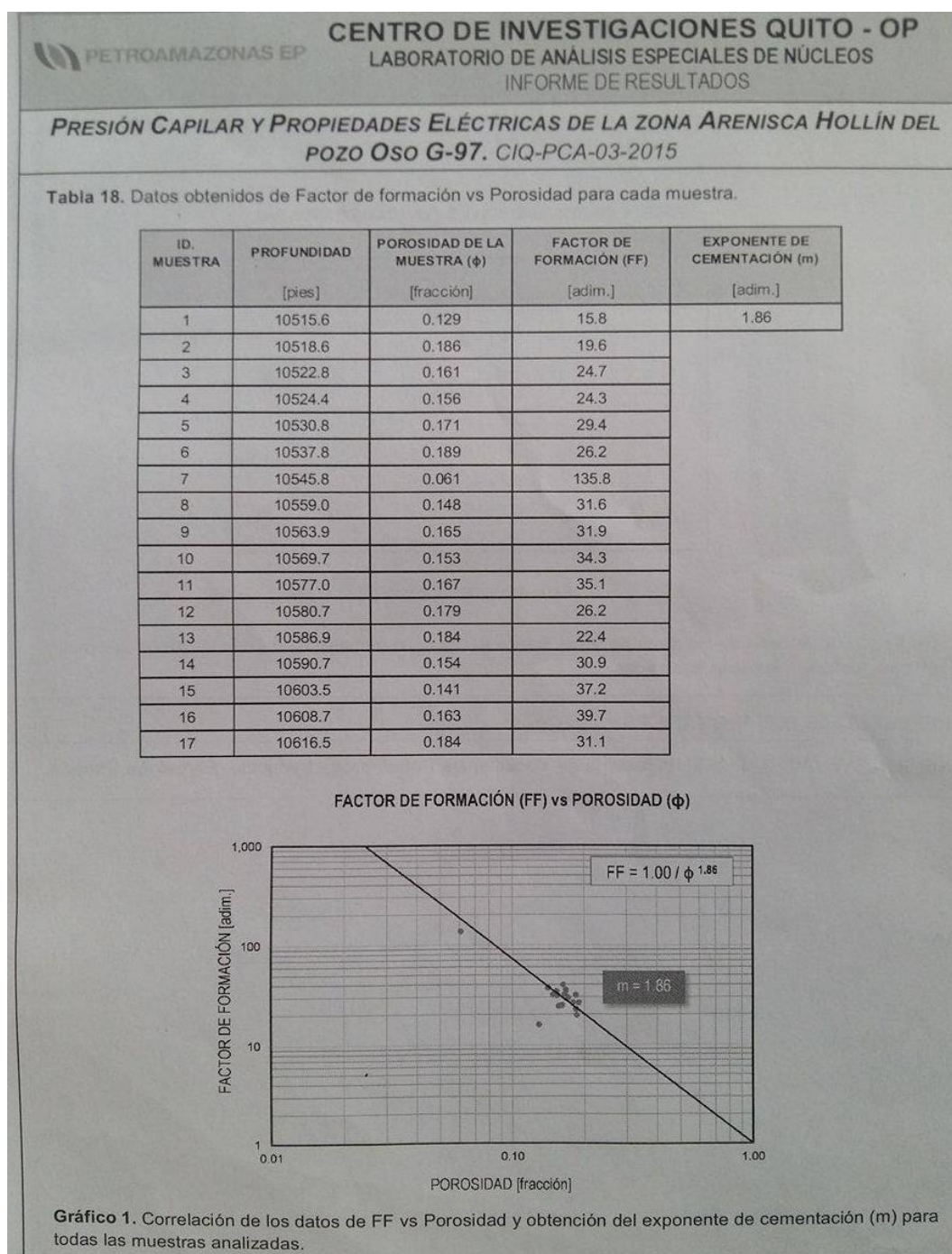
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO XXIII. TABLA DE RESULTADOS DEL DÉCIMO SÉPTIMO NÚCLEO



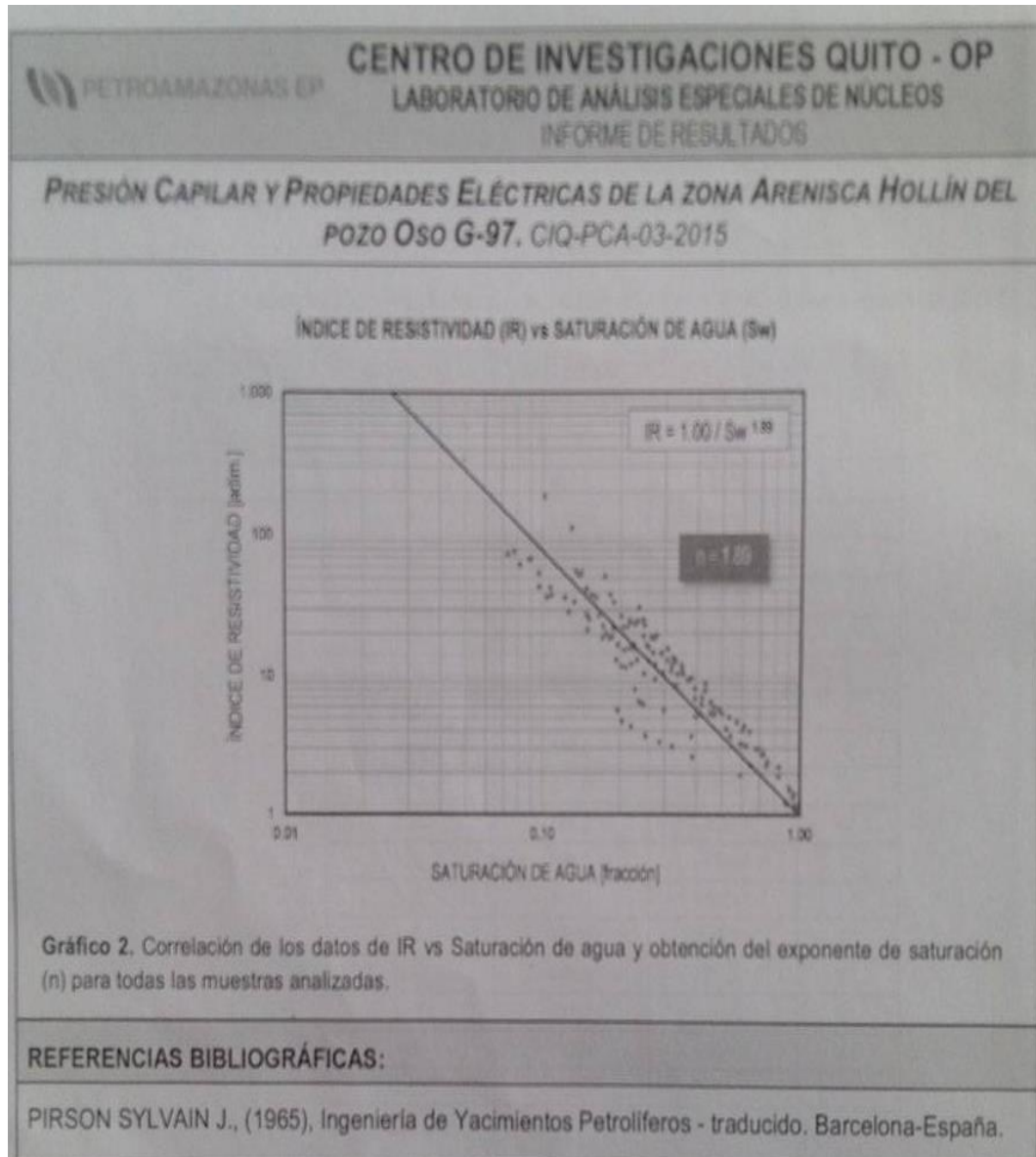
FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

ANEXO XXIV. TABLA DE RESULTADOS DEL DÉCIMO OCTAVO NÚCLEO



FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP


ANEXO XXV. CORRELACIÓN DE LOS DATOS DE IR VS SATURACIÓN DE AGUA Y OBTENCIÓN DEL EXPONENTE DE SATURACIÓN (N) PARA TODAS LAS MUESTRAS ANALIZADAS



FUENTE: Informe de resultados emitido por el centro de investigaciones de Quito - OP

Certificados de calibración de manómetros.

ANEXO XXVI. OFICIO DE EGRESO DE ÍTEMS Y DOCUMENTOS



Oficio de Egreso de ítems y documentos 2016-0130
Oportunidad 2016222

Guayaquil, 8 de julio de 2016

Señores
Bryan Aviles Arroyo
Atención: **Bryan Aviles Arroyo**
Ciudad

Estimados Señores,

Mediante este documento, procedemos con la devolución de los ítems que ingresaron a nuestro laboratorio de metrología. Los ítems devueltos son los siguientes:

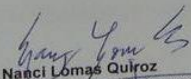
- 1.- Manómetro analógico, marca Nuova Fima, código MAN16062901, rango 0/30 Psi
- 2.- Manómetro analógico, marca Nuova Fima, código MAN16062902, rango 0/10 Psi
- 3.- Manómetro analógico Patrón, marca MC, código MAN16062903, rango 0/200 Psi

Adicional, procedemos con la entrega física de los siguientes documentos:


- a.- Certificados de Calibración N° 161134 hasta 161136
- b.- Factura # 5954

Agradecemos la confianza brindada a nuestro Laboratorio. Estaremos a gusto de poder trabajar con ustedes nuevamente. En caso de tener alguna inquietud al respecto, no dude en contactarse con nosotros, con mucho gusto lo atenderemos.

Atentamente,


Nanci Lomas Quiroz
Servicio Latinoamericano de Metrología
Serlam S.A.

Guayaquil: Cdla. Kennedy, Dr. Juan Federico Heinert (Calle 8^{va} Oeste) y
San Jorge, Condominio 2001-5 Local A8, Planta Baja.
Tel: (593-4)2280 632
Fax: El Tiempo N39-69, e/El Telégrafo y El Universo, Sector Iñaquito
Planta Baja PBX: (593-2)2920 000 - 2440 938
Email: laboratorio@serlam.com


08/07/2016 15:04

FUENTE: Certificados emitidos por la empresa SERLAM

ANEXO XXVII CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL MANÓMETRO DE 0-30 PSI

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

N° 161134
LABORATORIO DE PRESIÓN - PRESSURE LABORATORY

SERLAM
SERVICIO LATINOAMERICANO
DE METROLOGÍA

Fecha Cal. - Date Calibration: 2016-jul-07
Orden de trabajo - Work order: 0178
N° de ingreso - Number of entry: 2016-0130
Fecha ingreso - Date entry: 2016-jun-29
Realizada en - Execute: Laboratorio de Presión Serlam

Calibración realizada cumpliendo - Calibration performed in compliance
NTE INEN ISO/IEC 17025:2008

DATOS DEL CLIENTE - CUSTOMER DATA			
Nombre - Name	Bryan Avilés Arroyo	Ciudad - City	Guayaquil
Dirección - Address	Coop. Vista Alegre Mz A villa 10	Provincia - Province	Guayas
		País - Country	Ecuador

DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO - DESCRIPTION OF THE INSTRUMENT			
Tipo - Type	Manómetro analógico	Código - Code	MAN16062901
Fabricante - Manufacturer	Nuova Fima	División de escala - Scale division	0,2 PSI 1.379 kPa
Rango - Range	0 a 30 PSI 0 a 206.8 kPa	Exactitud / Clase - Accuracy / Class	1 %
Modelo - Model	No identificado	Nota adicional - Additional note	Ninguna
N° de Serie - Serial number	No identificada		

EQUIPO DE REFERENCIA UTILIZADO - REFERENCE EQUIPMENT USED			
Tipo - Type	Manovacuómetro digital	N° de Serie - Serial number	566952
Fabricante - Manufacturer	Crystal	Exactitud / Clase - Accuracy / Class	0 a 20% del rango: $\pm 0.02\%$ del total de la escala; 20 a 110% del rango: $\pm 0.1\%$ de la lectura
Rango - Range	-100 a 2000 kPa		
Modelo - Model	2KKPXP2I		

TRAZABILIDAD - TRACEABILITY

Los equipos de referencia utilizados han sido calibrados por CRYSTAL ENGINEERING CORPORATION, AN AMETEK INC. CORPORATION, con Certificado de Calibración 221146. - The reference equipment used have been calibrated by CRYSTAL ENGINEERING CORPORATION, AN AMETEK INC. CORPORATION, with Calibration Certificate 221146.

MÉTODO DE CALIBRACIÓN - CALIBRATION METHOD

El método utilizado para realizar este trabajo de calibración es el de "comparación directa" con un equipo de referencia. El procedimiento de calibración utilizado es el PO LAB 02, basado en ASME B40.100-2013, Sección B40.1 Manómetros: Indicadores de Presión Analógicos - Elemento Elástico, inciso 6; Sección B40.7 Gauges: Indicadores de Presión Digitales, inciso 6. The method used to perform this calibration work is "direct comparison" with reference equipment. The calibration procedure used is PO LAB 02, based on ASME B40.100-2013, Section B40.1 Gauges: Pressure Indicating Dial Type - Elastic Element, Subsection 6, Section B40.7 Gauges: Pressure Digital Indicating, subsection 6.

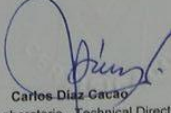
INCERTIDUMBRE - UNCERTAINTY

La incertidumbre expandida reportada de la medición se establece como la incertidumbre de medición multiplicada por el factor de cobertura k, de tal manera que la probabilidad de cobertura corresponde a aproximadamente 95%. The reported expanded uncertainty of measurement is set as the uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k, so that the coverage probability corresponds to about 95%.

NOTAS - NOTES

- Los resultados contenidos en el presente documento pertenecen únicamente al equipo calibrado, en el momento y en las condiciones indicadas. Serlam no se responsabiliza por el mal uso del equipo o de este documento. - 1. The results contained in this document are solely the equipment calibrated at the time and under conditions indicated. Serlam not responsible for the misuse of equipment or this document.
- Este Certificado de Calibración no puede ser reproducido total ni parcialmente, a menos que Serlam S.A. lo autorice por escrito. 2. This Calibration Certificate can not be reproduced in whole or in part, unless Serlam S.A. written authorization.

APROBADO POR - APPROVED BY:


Carlos Diaz Cacao
Director Técnico de Laboratorio - Technical Director of Laboratory

F LAB 14 VER 2016-01-18

PÁGINA 1 DE 2


Guayaquil: Cda Kennedy 8va Oeste y Av. San Jorge Condominio 2001-5 local A8 planta baja * PBX: 593 4 2280632 * Web: www.serlam.com * Email: laboratorio@serlam.com

FUENTE: Certificados emitidos por la empresa SERLAM

ANEXO XXVIII DATOS Y RESULTADOS DE CALIBRACIÓN DEL MANÓMETRO DE 0 - 30 PSI

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

N° 161134
LABORATORIO DE PRESIÓN - PRESSURE LABORATORY



Fecha Cal. - Date Calibration: 2016-jul-07 Calibración realizada cumpliendo - Calibration performed in compliance
 Orden de trabajo - Work order: 0178 NTE INEN ISO/IEC 17025:2006
 N° de Ingreso - Number of entry: 2016-0130
 Fecha ingreso - Date entry: 2016-jun-29
 Realizada en - Execute: Laboratorio de Presión Serlam

Cliente - Customer: Bryan Avilés Arroyo Tipo - Type: Manómetro analógico Código - Code: MAN18062901

CONDICIONES AMBIENTALES - ENVIRONMENTAL CONDITIONS
 Temperatura - Temperature: 20,4 +/- 0,1 °C Humedad Relativa - Relative Humidity: 57,2 +/- 1,9 %

DATOS DE CALIBRACIÓN - CALIBRATION DATA

ÍTEM EN PRUEBA	CICLO 1				CICLO 2				
	PATRÓN SUBIDA 1		PATRÓN BAJADA 1		PATRÓN SUBIDA 2		PATRÓN BAJADA 2		
(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)
0,000	0,00	0,000	0,00	0,020	0,14	0,000	0,00	0,040	0,28
7,400	51,02	7,630	52,61	7,620	52,54	7,630	52,61	7,650	52,74
15,000	103,42	15,280	105,35	15,290	105,42	15,300	105,49	15,320	105,63
22,400	154,44	22,610	155,89	22,630	156,03	22,650	156,17	22,650	156,17
30,000	206,84	30,080	207,39	30,080	207,39	30,110	207,60	30,110	207,60

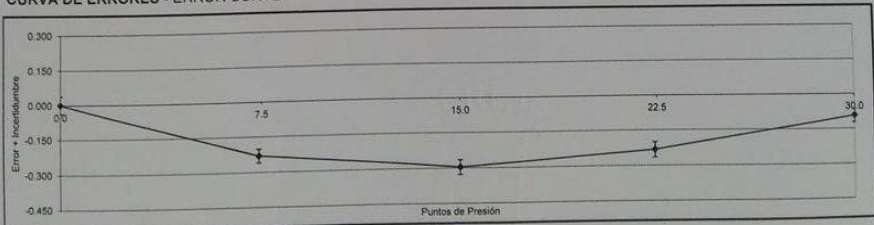
RESULTADOS OBTENIDOS - RESULTS OBTAINED

PATRÓN VALOR MEDIO		PATRÓN CORREGIDO		ÍTEM EN PRUEBA		ERROR		INCERTIDUMBRE K=2	
(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)
0,015	0,10	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,038	0,26
7,633	52,62	7,631	52,61	7,400	51,02	-0,231	-1,59	0,029	0,20
15,298	105,47	15,296	105,46	15,000	103,42	-0,296	-2,04	0,031	0,21
22,635	156,06	22,633	156,05	22,400	154,44	-0,233	-1,61	0,032	0,22
30,095	207,50	30,093	207,48	30,000	206,84	-0,093	-0,64	0,029	0,20

Factor de conversión - Conversion factor: 101,325 kPa = 14,69595 Psi

EXACTITUD - ACCURACY	HISTÉRESIS - HYSTERESIS	REPETIBILIDAD - REPEATABILITY
1,06 %	0,13 %	0,13 %

CURVA DE ERRORES - ERROR CURVE



Calibrado por - Calibrated by: **Carlos Díaz Cacao** Fecha de impresión - Printing date: 2016-jul-08

PÁGINA 2 DE 2


F LAB 14 VER 2016-01-18 Guayaquil: Cda Kennedy 8va Oeste y Av. San Jorge Condominio 2001-5 local A8 planta baja * PBX: 593 4 2280632 * Web: www.serlam.com * Email: laboratorio@serlam.com

FUENTE: Certificados emitidos por la empresa SERLAM

ANEXO XXIX CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL MANÓMETRO DE 0-100 PSI

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

N° 161135
LABORATORIO DE PRESIÓN - PRESSURE LABORATORY



SERLAM
SERVICIO LATINOAMERICANO
DE METROLOGÍA

Fecha Cal. - Date Calibration: 2016-jul-07 Calibración realizada cumpliendo - Calibration performed in compliance
 Orden de trabajo - Work order: 0178 NTE INEN ISO/IEC 17025:2006
 N° de ingreso - Number of entry: 2016-0130
 Fecha ingreso - Date entry: 2016-jun-29
 Realizada en - Execute: Laboratorio de Presión Serlam

DATOS DEL CLIENTE - CUSTOMER DATA			
Nombre - Name	Bryan Aviñés Arroyo	Ciudad - City	Guayaquil
Dirección - Address	Coop. Vista Alegre Mz A villa 10	Provincia - Province	Guayas
		País - Country	Ecuador

DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO - DESCRIPTION OF THE INSTRUMENT			
Tipo - Type	Manómetro analógico	Código - Code	MAN16062902
Fabricante - Manufacturer	Nuova Fima	División de escala - Scale division	1 PSI 6.895 kPa
Rango - Range	0 a 100 PSI 0 a 689.5 kPa	Exactitud / Clase - Accuracy / Class	1 %
Modelo - Model	No identificado	Nota adicional - Additional note	Ninguna
N° de Serie - Serial number	32985 13/2004		

EQUIPO DE REFERENCIA UTILIZADO - REFERENCE EQUIPMENT USED			
Tipo - Type	Manovacuómetro digital	N° de Serie - Serial number	566952
Fabricante - Manufacturer	Crystal	Exactitud / Clase - Accuracy / Class	0 a 20% del rango: ± 0.02% del total de la escala; 20 a 110% del rango: ±0.1% de la lectura
Rango - Range	-100 a 2000 kPa		
Modelo - Model	2KKPAXP2I		

TRAZABILIDAD - TRACEABILITY
 Los equipos de referencia utilizados han sido calibrados por CRYSTAL ENGINEERING CORPORATION, AN AMETEK INC. CORPORATION, con Certificado de Calibración 221146. - The reference equipment used have been calibrated by CRYSTAL ENGINEERING CORPORATION, AN AMETEK INC. CORPORATION, with Calibration Certificate 221146.

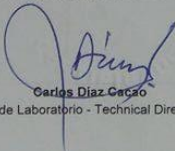
MÉTODO DE CALIBRACIÓN - CALIBRATION METHOD
 El método utilizado para realizar este trabajo de calibración es el de "comparación directa" con un equipo de referencia. El procedimiento de calibración utilizado es el PO LAB 02, basado en ASME B40.100-2013, Sección B40.1 Manómetros: Indicadores de Presión Analógicos - Elemento Elástico, inciso 6; Sección B40.7 Gauges: Indicadores de Presión Digitales, inciso 6. The method used to perform this calibration work is "direct comparison" with reference equipment. The calibration procedure used is PO LAB 02, based on ASME B40.100-2013, Section B40.1 Gauges: Pressure Indicating Dial Type - Elastic Element, Subsection 6, Section B40.7 Gauges: Pressure Digital Indicating, subsection 6.

INCERTIDUMBRE - UNCERTAINTY
 La incertidumbre expandida reportada de la medición se establece como la incertidumbre de medición multiplicada por el factor de cobertura k, de tal manera que la probabilidad de cobertura corresponde a aproximadamente 95%. The reported expanded uncertainty of measurement is set as the uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k, so that the coverage probability corresponds to about 95%.

NOTAS - NOTES

- Los resultados contenidos en el presente documento pertenecen únicamente al equipo calibrado, en el momento y en las condiciones indicadas. Serlam no se responsabiliza por el mal uso del equipo o de este documento. - 1. The results contained in this document are solely the equipment calibrated at the time and under conditions indicated. Serlam not responsible for the misuse of equipment or this document.
- Este Certificado de Calibración no puede ser reproducido total ni parcialmente, a menos que Serlam S.A. lo autorice por escrito. - 2. This Calibration Certificate can not be reproduced in whole or in part, unless Serlam S.A. written authorization.

APROBADO POR - APPROVED BY:


 Carlos Díaz Caicedo
 Director Técnico de Laboratorio - Technical Director of Laboratory

F LAB 14 VER 2016-01-18 PÁGINA 1 DE 2

Guayaquil: C/da Kennedy 8va Oeste y Av. San Jorge Condominio 2001-5 local A8 planta baja * PBX: 593 4 2280632 * Web: www.serlam.com * Email: laboratorio@serlam.com

FUENTE: Certificados emitidos por la empresa SERLAM

ANEXO XXX. DATOS Y RESULTADOS DEL MANÓMETRO DE 0-100 PSI

Nº 161135
LABORATORIO DE PRESIÓN - PRESSURE LABORATORY

SERLAM
SERVICIO LATINOAMERICANO DE METROLOGÍA

Fecha Cal. - Date Calibration: 2016-jul-07
Orden de trabajo - Work order: 0178
Nº de ingreso - Number of entry: 2016-0130
Fecha ingreso - Date entry: 2016-jun-29
Realizada en - Execute: Laboratorio de Presión Serlam

Calibración realizada cumpliendo - Calibration performed in compliance
NTE INEN ISO/IEC 17025:2006

Cliente - Customer: Bryan Avilés Arroyo Tipo - Type: Manómetro analógico Código - Code: MAN16062902

CONDICIONES AMBIENTALES - ENVIRONMENTAL CONDITIONS
Temperatura - Temperature: 20,8 +/- 0,1 °C Humedad Relativa - Relative Humidity: 56,1 +/- 4,0 %

DATOS DE CALIBRACIÓN - CALIBRATION DATA

ÍTEM EN PRUEBA	CICLO 1				CICLO 2				
	PATRÓN SUBIDA 1		PATRÓN BAJADA 1		PATRÓN SUBIDA 2		PATRÓN BAJADA 2		
(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,34	0,00	0,00	0,06	0,41
25,00	172,37	25,22	173,89	25,17	173,54	25,16	173,47	25,10	173,06
50,00	344,74	50,38	347,36	50,35	347,15	50,31	346,88	50,33	347,01
75,00	517,11	75,32	519,31	75,38	519,73	75,29	519,11	75,36	519,59
100,00	689,48	100,18	690,72	100,18	690,72	100,08	690,03	100,08	690,03

RESULTADOS OBTENIDOS - RESULTS OBTAINED

PATRÓN VALOR MEDIO		PATRÓN CORREGIDO		ÍTEM EN PRUEBA		ERROR		INCERTIDUMBRE K=2	
(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)
0,03	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,86
25,16	173,49	25,16	173,48	25,00	172,37	-0,16	-1,11	0,13	0,90
50,34	347,10	50,34	347,08	50,00	344,74	-0,34	-2,35	0,12	0,83
75,34	519,43	75,33	519,42	75,00	517,11	-0,33	-2,31	0,13	0,89
100,13	690,37	100,13	690,35	100,00	689,48	-0,13	-0,88	0,13	0,89

Factor de conversión - Conversion factor: 101,325 kPa = 14,69595 Psi

EXACTITUD - ACCURACY	HISTÉRESIS - HYSTERESIS	REPETIBILIDAD - REPEATABILITY
0,38 %	0,07 %	0,10 %

CURVA DE ERRORES - ERROR CURVE


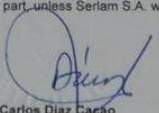
Calibrado por - Calibrated by: Carlos Díaz Cacao Fecha de impresión - Printing date: 2016-jul-08

F LAB 14 VER 2016-01-18 PÁGINA 2 DE 2

Guayaquil: C/da Kennedy 8va Oeste y Av. San Jorge Condominio 2001-5 local A8 planta baja * PBX: 593 4 2280632 * Web: www.serlam.com * Email: laboratorio@serlam.com

FUENTE: Certificados emitidos por la empresa SERLAM

ANEXO XXXI CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL MANÓMETRO DE 0-200 PSI

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	N° 161136		LABORATORIO DE PRESIÓN - PRESSURE LABORATORY		 SERVICIO LATINOAMERICANO DE METROLOGIA	
	Fecha Cal. - Date Calibration:	2016-jul-07	Calibración realizada cumpliendo - Calibration performed in compliance			
	Orden de trabajo - Work order:	0178	NTE INEN ISO/IEC 17025:2008			
	N° de Ingreso - Number of entry:	2016-0130				
	Fecha Ingreso - Date entry:	2016-jun-29				
	Realizada en - Execute:	Laboratorio de Presión Serlam				
	DATOS DEL CLIENTE - CUSTOMER DATA					
	Nombre - Name	Bryan Avilés Arroyo	Ciudad - City	Guayaquil		
	Dirección - Address	Coop. Vista Alegre Mz A villa 10	Provincia - Province	Guayas		
			País - Country	Ecuador		
DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO - DESCRIPTION OF THE INSTRUMENT						
Tipo - Type	Manómetro analógico	Código - Code	MAN16062903			
Fabricante - Manufacturer	MC	División de escala - Scale division	1 PSI	8,895 kPa		
Rango - Range	0 a 200 PSI 0 a 1379 kPa	Exactitud / Clase - Accuracy / Class	0,5 %			
Modelo - Model	No identificado	Nota adicional - Additional note	Ninguna			
N° de Serie - Serial number	7529841					
EQUIPO DE REFERENCIA UTILIZADO - REFERENCE EQUIPMENT USED						
Tipo - Type	Manovacuómetro digital	N° de Serie - Serial number	566952			
Fabricante - Manufacturer	Crystal	Exactitud / Clase - Accuracy / Class	0 a 20% del rango: ± 0.02% del total de la escala; 20 a 110% del rango: ±0.1% de la lectura			
Rango - Range	-100 a 2000 kPa					
Modelo - Model	2KKPAXP2I					
TRAZABILIDAD - TRACEABILITY						
Los equipos de referencia utilizados han sido calibrados por CRYSTAL ENGINEERING CORPORATION, AN AMETEK INC. CORPORATION, con Certificado de Calibración 221146. - The reference equipment used have been calibrated by CRYSTAL ENGINEERING CORPORATION, AN AMETEK INC. CORPORATION, with Calibration Certificate 221146.						
MÉTODO DE CALIBRACIÓN - CALIBRATION METHOD						
El método utilizado para realizar este trabajo de calibración es el de "comparación directa" con un equipo de referencia. El procedimiento de calibración utilizado es el PO LAB 02, basado en ASME B40.100-2013, Sección B40.1 Manómetros: Indicadores de Presión Analógicos - Elemento Elástico, inciso 6; Sección B40.7 Gauges: Indicadores de Presión Digitales, inciso 6. The method used to perform this calibration work is "direct comparison" with reference equipment. The calibration procedure used is PO LAB 02, based on ASME B40.100-2013, Section B40.1 Gauges: Pressure Indicating Dial Type - Elastic Element, Subsection 6, Section B40.7 Gauges: Pressure Digital Indicating, subsection 6.						
INCERTIDUMBRE - UNCERTAINTY						
La incertidumbre expandida reportada de la medición se establece como la incertidumbre de medición multiplicada por el factor de cobertura k, de tal manera que la probabilidad de cobertura corresponde a aproximadamente 95%. The reported expanded uncertainty of measurement is set as the uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k, so that the coverage probability corresponds to about 95%.						
NOTAS - NOTES						
1. Los resultados contenidos en el presente documento pertenecen únicamente al equipo calibrado, en el momento y en las condiciones indicadas. Serlam no se responsabiliza por el mal uso del equipo o de este documento. - 1. The results contained in this document are solely the equipment calibrated at the time and under conditions indicated. Serlam not responsible for the misuse of equipment or this document.						
2. Este Certificado de Calibración no puede ser reproducido total ni parcialmente, a menos que Serlam S.A. lo autorice por escrito. 2. This Calibration Certificate can not be reproduced in whole or in part, unless Serlam S.A. written authorization.						
APROBADO POR - APPROVED BY:						
 Carlos Diaz Cacao Director Técnico de Laboratorio - Technical Director of Laboratory						
F. LAB 14 VER 2016-01-18						
PÁGINA 1 DE 2						
Guayaquil: Cda Kennedy E/Av Oeste y Av. San Jorge Condominio 2001-5 local A8 planta baja * PBX: 593 4 2280632 * Web: www.serlam.com * Email: laboratorio@serlam.com						

FUENTE: Certificados emitidos por la empresa SERLAM

ANEXO XXXII DATOS Y RESULTADOS DE CALIBRACIÓN DEL MANÓMETRO DE 0-200 PSI

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

N° 161136
LABORATORIO DE PRESIÓN - PRESSURE LABORATORY

Fecha Cal. - Date Calibration: 2016-jul-07
Orden de trabajo - Work order: 0178
N° de ingreso - Number of entry: 2016-0130
Fecha ingreso - Date entry: 2016-jun-29
Realizada en - Execute: Laboratorio de Presión Serlam

SERLAM
SERVICIO LATINOAMERICANO DE METROLOGÍA

Calibración realizada cumpliendo - Calibration performed in compliance
NTE INEN ISO/IEC 17025:2006

Cliente - Customer: Bryan Avilés Arroyo Tipo - Type: Manómetro analógico Código - Code: MAN16062903

CONDICIONES AMBIENTALES - ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Temperatura - Temperature: 20,9 +/- 0,0 °C Humedad Relativa - Relative Humidity: 57,5 +/- 3,0 %

DATOS DE CALIBRACIÓN - CALIBRATION DATA

ÍTEM EN PRUEBA	CICLO 1				CICLO 2				
	PATRÓN SUBIDA 1		PATRÓN BAJADA 1		PATRÓN SUBIDA 2		PATRÓN BAJADA 2		
(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03	-0,21	0,00	0,00	0,01	0,07
50,00	344,7	50,29	346,7	50,37	347,3	50,60	348,9	50,61	348,9
100,00	689,48	100,82	695,13	100,81	695,06	100,86	695,41	100,83	695,20
150,00	1034,21	151,00	1041,11	151,05	1041,45	151,05	1041,45	151,09	1041,73
200,00	1378,95	201,42	1388,74	201,42	1388,74	201,51	1389,36	201,51	1389,36

RESULTADOS OBTENIDOS - RESULTS OBTAINED

PATRÓN VALOR MEDIO		PATRÓN CORREGIDO		ÍTEM EN PRUEBA		ERROR		INCERTIDUMBRE K=2	
(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)	(PSI)	(kPa)
-0,01	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,81
50,47	348,0	50,47	347,9	50,00	344,7	-0,47	-3,2	0,20	1,4
100,83	695,20	100,83	695,18	100,00	689,48	-0,83	-5,70	0,12	0,82
151,05	1041,44	151,04	1041,41	150,00	1034,21	-1,04	-7,20	0,13	0,87
201,47	1389,05	201,46	1389,02	200,00	1378,95	-1,46	-10,07	0,13	0,88

Factor de conversión - Conversion factor: 101,325 kPa = 14,69595 Psi

EXACTITUD - ACCURACY	HISTÉRESIS - HYSTERESIS	REPETIBILIDAD - REPEATABILITY
0,75 %	0,04 %	0,16 %

CURVA DE ERRORES - ERROR CURVE

Calibrado por - Calibrated by: Carlos Díaz Cacao Fecha de impresión - Printing date: 2016-jul-08

PÁGINA 2 DE 2

F LAB 14 VER 2016-01-18 Guayaquil: Cda Kennedy Bva Oeste y Av. San Jorge Condominio 2001-5 local A8 planta baja * PBX: 593 4 2280632 * Web: www.serlam.com * Email: laboratorio@serlam.com

FUENTE: Certificados emitidos por la empresa SERLAM

Imágenes del proceso de Restauración del Equipo de Presión Capilar

ANEXO XXXIII EQUIPO DE PRESIÓN CAPILAR DE LABORATORIO DE LA UPSE



Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de UPSE

ANEXO XXXIV CAJA PRINCIPAL DEL EQUIPO DE PRESIÓN CAPILAR DE LA UPSE



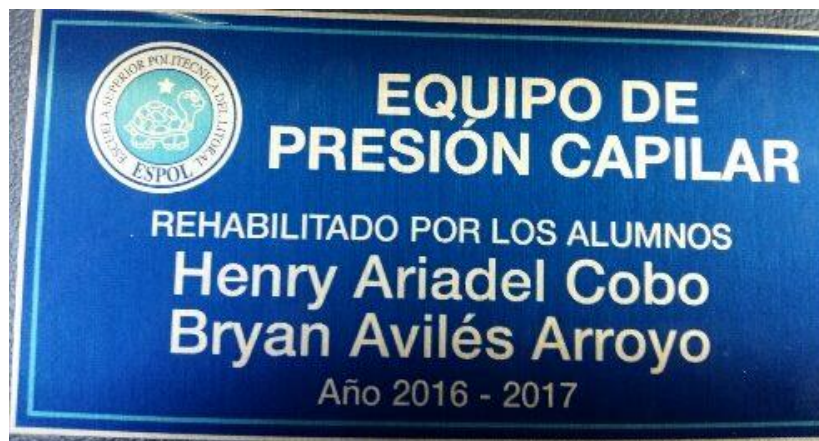
Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol

ANEXO XXXV CELDA DE DESATURACIÓN DEL EQUIPO DE PRESIÓN CAPILAR DE LA UPSE



Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol

ANEXO XXXVI PLACA DEL EQUIPO DE PRESIÓN CAPILAR DE LA ESPOL



Fuente: Registro Fotográfico del Equipo de Presión Capilar del Laboratorio de Petróleos de la Espol

ANEXO XXXVII VÁLVULA DEL TANQUE DE GAS CUBIERTA POR HIELO.

Fuente: Registro Fotográfico de la bombona de gas del Laboratorio de Petróleos de la Espol

ANEXO XXXVIII BOMBA AL VACÍO CON LOS CINCO NÚCLEOS SATURÁNDOSE

Fuente: Registro Fotográfico de la bomba al vacío del Laboratorio de Petróleos de la Espol