

**ESTRUCTURACIÓN TEÓRICO - PRÁCTICA DE LA GUÍA DE LABORATORIO
DE ANÁLISIS PETROFÍSICOS USANDO LAS TECNOLOGÍAS DE
INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN - TIC**

**YENNY PAOLA CASTILLO LIZARAZO
OMAR ANDRÉS PINEDA PÉREZ**

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

2015

**ESTRUCTURACIÓN TEÓRICO - PRÁCTICA DE LA GUÍA DE LABORATORIO
DE ANÁLISIS PETROFÍSICOS USANDO LAS TECNOLOGÍAS DE
INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN - TIC**

**YENNY PAOLA CASTILLO LIZARAZO
OMAR ANDRÉS PINEDA PÉREZ**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero de Petróleos**

**Director:
HERNANDO BUENDÍA LOMBANA M.Sc**

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

2015

DEDICATORIA

A Dios, mi guía, quien me permitió llegar a este punto, quien ilumino mi camino.

A mi mamá, mi base, mi fortaleza, mi todo, lo maravilloso que me regaló la vida, a quien hoy agradezco tantos esfuerzos, tantos desvelos, tanto empeño por verme convertido en un gran hombre, en un gran ingeniero.

A mi papá, a quien le debo esas grandes enseñanzas que me han formado como persona, quien ha hecho que afronte la vida con berraquera, a salir triunfante de ella, ser su orgullo, su felicidad, su motivación son razones por las cuales hoy le digo ¡gracias!.

A la alegría de mi vida, quien ha sido y será mi motivación para jamás caer, quien me da fortaleza para seguir creciendo, a quien quiero mucho, Daniela.

A mi tía Yolima, mi apoyo incondicional, la persona que siempre estuvo ahí, la persona que con su voz de aliento me motivo a escalar y alcanzar esta meta.

A mi familia, quienes siempre creyeron en mí, quienes me demostraron desde el primer día su apoyo y orgullo para hacer de este sueño una realidad.

A mi compañera de tesis, quien fue la persona con la que comencé a construir este sueño, la persona con la que compartí los momentos alegres y difíciles que tenía este camino.

Omar Andrés Pineda Pérez

DEDICATORIA

A Dios y a la santísima virgen María, por acompañarme en cada paso, iluminar mi camino y permitir el cumplimiento de mis ideales.

A mis padres, Anita y Rigoberto, gracias por apoyarme, estar presentes en cada momento de mi vida, por su confianza y educación, por enseñarme que no importan las dificultades, rendirse nunca es una opción; Sus innumerables esfuerzos permiten que me convierta en profesional, no me alcanza la vida para recompensarles lo que día a día hacen por mí, los amo.

A mis abuelitos María Ismenia y José Ramón, por amarme, consentirme, compartir mi niñez, por permitirme ser feliz a su lado, y aunque físicamente no estén presentes, sé que comparten mi felicidad, también es un logro para ellos.

A mis hermanos, Sandra, Laura, Camilo y Carolina, por sus consejos, palabras de ánimo y por siempre hacerse presentes a pesar de la distancia.

A mi novio, Andrés, por ser mi apoyo incondicional, compartir conmigo momentos de tristeza y alegría, gracias por creer en mí y en la culminación de tan anhelada meta, siempre te estaré agradecida.

Yenny Paola Castillo Lizarazo

AGRADECIMIENTOS

A nuestra alma mater, la Universidad Industrial de Santander por abrirnos las puertas, brindarnos herramientas y oportunidades que nos formaron como personas e Ingenieros de Petróleos.

A nuestro director el Ingeniero Hernando Buendía Lombana por apoyarnos en la realización de nuestro proyecto de grado, disponer de su tiempo para guiarnos y compartir sus valiosos conocimientos en el campo.

Al Ingeniero Jorge Iván Torres por su importante apoyo en el desarrollo del proyecto, sus valiosas orientaciones y por brindarnos su tiempo, carisma, conocimientos y consejos.

Al equipo de trabajo de Parque Tecnológico Guatiguará, de la Universidad Industrial de Santander, por ser parte de este proceso y darnos valiosas pautas para la realización del proyecto.

A todos aquellos que estuvieron presentes: maestros, directivos, nuestros amigos y compañeros de la Universidad, que compartieron con nosotros una de las etapas más bellas y valiosas, gracias a cada persona que contribuyó para que hoy estemos culminando esta gran oportunidad que nos dio la vida.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	19
1 DESARROLLO CONTENIDO GUÍA TEÓRICO PRÁCTICA LABORATORIO ANÁLISIS PETROFÍSICOS.....	21
1.1 NORMAS Y RECOMENDACIONES PARA TRABAJAR EN EL LABORATORIO	22
1.1.1 Responsabilidades del personal que ingrese al laboratorio.....	22
1.1.2 Normas sobre seguridad y trabajo	23
1.1.3 Manipulación de sustancias químicas en el laboratorio.....	26
1.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	26
1.3 GUÍAS DE LABORATORIO	29
1.3.1 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA.....	30
1.3.2 PRESERVACIÓN DE NÚCLEOS	37
1.3.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	40
1.3.4 CORTE DE PLUGS	44
1.3.5 FLUORESCENCIA	47
1.3.6 MOJABILIDAD VISUAL	49
1.3.7 SATURACIÓN DE FLUIDOS	52
1.3.8 POROSIDAD MÉTODO BOYLE	57
1.3.9 POROSIDAD POR SATURACIÓN	62
1.3.10 PERMEABILIDAD AL GAS	66
1.3.11 PERMEABILIDAD ABSOLUTA AL AIRE	69
1.3.12 PRESIÓN CAPILAR	76
1.4 MATERIAL AUDIOVISUAL.....	80
2 CONCEPTOS BÁSICOS E INFLUENCIA DE LAS TIC EN LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE	82

2.1 ENTORNOS VIRTUALES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE (EVEA)	82
2.1.1 MOODLE	84
2.2 ETAPA IMPLEMENTACIÓN DEL AULA VIRTUAL	85
2.2.1 Ingreso al aula virtual Análisis Petrofísicos	86
2.2.2 Aula virtual Análisis Petrofísicos	89
3 CONCLUSIONES	92
4 RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA.....	95
ANEXOS	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Redondez	31
Figura 2. Calibrado o selección de las partículas.....	31
Figura 3. Tipos de empaquetamiento	32
Figura 4. Tipos de fábrica presentes en las rocas sedimentarias	32
Figura 5. Tipos de matriz presentes en las rocas sedimentarias	32
Figura 6. Diagrama triangular para la clasificación textural de rocas sedimentarias	33
Figura 7. Muestras de roca	36
Figura 8. Núcleo preservado.....	38
Figura 9. Agitador Mecánico	42
Figura 10. Núcleo.....	45
Figura 11. Fluoroscopio	48
Figura 12. Arena de formación.....	50
Figura 13. Equipo Dean Stark.....	53
Figura 14. Porosímetro de Boyle	59
Figura 15. Plancha, Erlenmeyer y Desecador.....	63
Figura 16. Permeámetro	67
Figura 17. Permeámetro Ruska a Gas	72
Figura 18. Equipo Presión Capilar	77
Figura 19. Secuencia de video Saturación de fluidos	81
Figura 20. Secuencia Animación Permeámetro Método Boyle	81
Figura 21. Página principal Universidad Industrial de Santander.....	87
Figura 22. Aula Virtual de Aprendizaje.....	87
Figura 23. Perfil de usuario en Aula Virtual de Aprendizaje	88
Figura 24. Cursos matriculados por el estudiante en el Aula Virtual de Aprendizaje	88
Figura 25. Aula Virtual Análisis Petrofísicos	89

Figura 26. Prácticas de laboratorio No. 1 en Aula Virtual Análisis Petrofísicos90
Figura 27. Información Práctica de laboratorio Descripción Litológica.....91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes de información.....	27
Tabla 2. Clasificación de partículas según su tamaño	30
Tabla 3. Nomenclatura y terminología general para la clasificación de rocas sedimentarias.....	34
Tabla 4. Gravedad API de acuerdo al color emitido por el crudo.....	47
Tabla 5. Métodos de secado de las muestras de Núcleo	55
Tabla 6. Volumen discos MATRIX CUP.....	58
Tabla 7. Volumen conexiones externas porosímetro	58

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Altura medidor de flujo en función del caudal (Q).....	70
Gráfica 2. Viscosidad del Gas en función de la Temperatura	71

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA.....	100
ANEXO B. PRESERVACIÓN DE NÚCLEOS	104
ANEXO C. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	105
ANEXO D. CORTE DE PLUGS	106
ANEXO E. FLUORESCENCIA.....	107
ANEXO F. MOJABILIDAD VISUAL.....	108
ANEXO G. SATURACIÓN DE FLUIDOS (MÉTODO DEAN STARK).....	109
ANEXO H. POROSIDAD MÉTODO BOYLE	111
ANEXO I. POROSIDAD POR SATURACIÓN.....	113
ANEXO J. PERMEABILIDAD AL GAS.....	114
ANEXO K. PERMEABILIDAD ABSOLUTA AL AIRE	115
ANEXO L. PRESIÓN CAPILAR.....	116

RESUMEN

TÍTULO: ESTRUCTURACIÓN TEÓRICO - PRÁCTICA DE LA GUÍA DE LABORATORIO DE ANÁLISIS PETROFÍSICOS USANDO LAS TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN – TIC.*

AUTORES: CASTILLO LIZARAZO, Yenny Paola., PINEDA PÉREZ, Omar Andrés.**

PALABRAS CLAVE: Análisis Petrofísicos, fluidos, propiedades petrofísicas, roca del yacimiento, plug, fluidos de saturación, porosidad, permeabilidad, Tecnologías de Información y Comunicación.

En la formación del Ingeniero de Petróleos, existe el reto de brindar una educación complementaria, donde cada asignatura que se curse sea clave y proporcione las bases suficientes para cumplir dicho objetivo.

La asignatura Análisis Petrofísicos, tiene un gran aporte, su propósito es proporcionar al estudiante elementos básicos que permitan estudiar las propiedades petrofísicas, analizar las principales características de la roca del yacimiento y su relación con los fluidos. Para ello se planteó la realización del proyecto, para fortalecer el proceso de enseñanza- aprendizaje, dando uso de las Tecnologías de Información y Comunicación - TIC. Inicialmente, se presenta las normas y recomendaciones para trabajar en el laboratorio, seguido de la recopilación de las fuentes de información consultadas para el desarrollo de los contenidos, las guías y formatos de datos de cada una de las prácticas de laboratorio y un ejemplo ilustrado de las ayudas audiovisuales, donde se evidencia el paso a paso para el desarrollo de la totalidad de las pruebas. Además se da a conocer la definición de las TIC y las innumerables ventajas del uso de herramientas informáticas en la interacción docente-alumno.

Todo el material es finalmente implementado en el aula virtual Moodle, en una serie de módulos, explicados a través de una secuencia de imágenes que indican la forma en como esta dispuestos en la plataforma de la Universidad Industrial de Santander.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.
Director: Hernando Buendía Lombana, MSc.

ABSTRACT

TITLE: STRUCTURING THEORETICAL - PRACTICAL GUIDE OF LABORATORY ANALYSIS PETROPHYSICAL USING THE INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY - ICT. *

AUTHORS: CASTILLO LIZARAZO, Yenny Paola., PINEDA PÉREZ, Omar Andrés.**

KEYWORDS: Analysis includes petro physical data derived, fluids, petro physical properties, reservoir-rock, plug, fluid saturation, porosity, permeability, information and communication technologies.

In the Petroleum Engineer's training program there is the challenge of providing the opportunity for further education. Every subject of study is key and provides sufficient basis to achieve this objective.

The Petrophysical Analysis Course is a great contribution; its purpose is to provide students the basic elements of the study of petro physical properties. It also provides analysis of the main characteristics of the reservoir rock and its relationship with the fluids. So do this the project was proposed to strengthen the teaching-learning process, giving use of Information and Communication Technologies – ICT. Initially, the rules and recommendations to work in the laboratory followed by the compilation of the sources of information for the development of the contents, guidelines and data formats of each of the labs. Also, the illustrated audio and visual aids such as where evidence is presented step by step to the development of all of the evidence. In addition, there is a definition of ICT and the many advantages of using tools in teacher-student interaction.

All material is finally implemented in the Moodle virtual classroom, in a series of modules, explained through a sequence of images showing the way in which this platform arranged in the Universidad Industrial de Santander.

* Work degree

** Faculty of Physicochemical Engineering. Petroleum Engineering School.
Director: Hernando Buendía Lombana, MSc.

INTRODUCCIÓN

Las propiedades petrofísicas de las rocas de formación y los fluidos presentes en el yacimiento, son parte fundamental de la ingeniería aplicable tanto en la investigación geológica, para descubrir nuevas reservas, como en la investigación de yacimientos para implementar métodos de recobro mejorado.

La información básica para efectuar tales investigaciones, procede de dos fuentes, campo de producción y laboratorio; estas fuentes de información se someten a procesos de correlación y pulimiento para obtener por último los pronósticos de comportamiento, los cuales serán más o menos confiables en cuanto a la información base que se tenga. El laboratorio produce información directa en los aspectos de análisis de fluidos y de corazonas como fuente única y geológica en forma parcial, en el proceso de recuperación.

Cada una de estas razones es fuerza suficiente para implementar guías y material audiovisual de las pruebas de laboratorio de Análisis Petrofísicos y generar valor agregado que contribuya con la comprensión y entendimiento de los fenómenos ocurridos, brindando una herramienta útil al servicio de la comunidad académica, que permite al estudiante una familiarización con los materiales y equipos a usar en la práctica, creando un espacio en donde se fortalece su conocimiento y se le brindan herramientas prácticas para su desempeño profesional.

Teniendo en cuenta cada uno de los aspectos mencionados, se realizó este proyecto donde se evidencia el desarrollo y cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos.

En la primera unidad, se detalla cada una de las actividades que se desarrollaron durante el proyecto, se destacan dos etapas:

- Recopilación de información: Se realizó una tabla que resume la información de los libros, artículos y demás documentos consultados para tener una base sólida e iniciar con el desarrollo de las guías, formatos y ayudas audiovisuales.
- Presentación de guías, formatos e imágenes de las ayudas audiovisuales.

En la segunda unidad se hace un breve recuento de los conceptos básicos sobre las TIC, los procesos de enseñanza aprendizaje, una descripción de la plataforma virtual en la que se implementó el material proporcionado para la asignatura Análisis Petrofísicos.

- Evidencia de la creación de la plataforma en el aula virtual: Se brinda al lector un pequeño tutorial de los contenidos e ingreso a la plataforma de la asignatura Análisis Petrofísicos.

1 DESARROLLO CONTENIDO GUÍA TEÓRICO PRÁCTICA LABORATORIO ANÁLISIS PETROFÍSICOS

El propósito de este proyecto es crear un aula virtual donde se implementen ayudas audiovisuales, guías y formatos de laboratorio, generando un espacio abierto para estudiante y docente, se hace con el fin de proporcionar a la comunidad académica una herramienta útil en el desarrollo del contenido de la asignatura Análisis Petrofísicos, además se busca concientizar al estudiante sobre la importancia que tiene un buen desarrollo de las prácticas y la aplicación que tiene en la industria petrolera.

La Universidad Industrial de Santander, cuenta con el único laboratorio certificado en el país de Análisis Petrofísicos, que obtuvo la acreditación de seis pruebas por parte del Organismo Nacional de Acreditación de Colombia – ONAC, saturación de fluidos por el método DEAN STARK, determinación de porosidad y permeabilidad al aire, prueba de emulsión, sludge y mojabilidad visual. Las instalaciones, ubicadas en el municipio de Piedecuesta Santander, cumplen con todos los requisitos de seguridad y estándares de calidad necesarios para el funcionamiento de laboratorios de ensayo, según las Norma NTC ISO/IEC 17025:2005. Además al ofrecer confiabilidad en los resultados de las pruebas, se ha posicionado nacional e internacionalmente como un ente confiable para muchas compañías que requieren de dichos servicios.

Un respaldo importante para el cumplimiento de los objetivos de calidad, es la presencia de profesionales idóneos, de alta capacidad y experiencia, que brindan sus conocimientos tanto a las empresas del sector como a los estudiantes de la universidad.

El reconocimiento que ha obtenido el laboratorio de Análisis Petrofísicos, da un indicativo de cuán importante es el contenido que se desarrolla en la asignatura y

de su influencia en varios procesos o decisiones a tomar de acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas. Para que dichos resultados sean válidos y confiables se cuenta con equipos especializados y de alta tecnología. Para que el trabajo realizado en el laboratorio sea exitoso, es requisito fundamental cumplir con las normas de seguridad, garantizando integridad en los procedimientos. A continuación algunas pautas:¹

1.1 NORMAS Y RECOMENDACIONES PARA TRABAJAR EN EL LABORATORIO

Realice todas las actividades del laboratorio dando cumplimiento a las siguientes normas de seguridad:

1.1.1 Responsabilidades del personal que ingrese al laboratorio

Normas generales de conducta:

Está prohibido:

- Fumar, comer o beber.
- Almacenar alimentos.
- Usar pulseras, anillos, bufandas y otro tipo de accesorios personales.
- Emplear cosméticos (maquillarse) en el laboratorio, éstos pueden absorber sustancias químicas.
- Llevar el cabello suelto.
- Usar pantalones cortos, faldas cortas, zapatos de tacón, zapatos abiertos, sandalias o zapatos hechos de tela.
- Utilizar equipos electrónicos como celular, ipod, portátil, entre otros en el

¹ TALENTO HUMANO SUBPROCESO SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL. Versión 01. Protocolo de seguridad química en laboratorios. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2012. P 40. [En línea]. [Consultado el 12 de Agosto de 2015]. Disponible en la web en: https://www.uis.edu.co/intranet/calidad/documentos/gestion_ambiental/protocolos/TTH.01.pdf

área de trabajo.

- Si se tiene alguna herida, cubrirla para evitar contaminarse.
- No manipule los lentes de contacto en el laboratorio, a no ser que sea para removerlos y poder usar la fuente lavaojos en caso de una emergencia.
- Mantenga en orden y limpieza los lugares de trabajo, antes, durante y después de la ejecución de cualquier tarea.
- Mantenga las zonas de paso, libre de obstáculos.
- Lávese las manos al entrar y salir del laboratorio, y cuando se tenga contacto con algún producto químico.
- No juegue o haga bromas en el laboratorio; los laboratorios son un lugar serio de estudio y de trabajo.
- Al transitar por el laboratorio debe hacerlo con precaución.
- No corra dentro del laboratorio, en casos de emergencia mantenga la calma, transite rápidamente y conserve su derecha.
- Disponga sus prendas y objetos personales en el lugar destinado para tal fin, NO dejarlos nunca sobre la mesa de trabajo

1.1.2 Normas sobre seguridad y trabajo

- Previamente debe consultar las fichas de seguridad de los productos químicos para ser utilizados, léalas detenidamente y comprenda el numeral “Controles de exposición/protección personal”.
- Antes de utilizar un determinado compuesto, asegurarse bien de que es el que se necesita.
- Lea detenidamente las etiquetas de las sustancias químicas o mezclas que se emplearán.
- Al ingresar al laboratorio usted debe seguir las indicaciones del personal a cargo y/o técnico de laboratorio.
- Identifique la ubicación y uso de los equipos de seguridad con que cuenta el laboratorio (Ej. Duchas corporales, sistemas lavaojos, kit de derrames, etc.).

- Conozca donde se ubican las fichas de seguridad de las sustancias químicas que se emplean en el laboratorio.
- No realice experimentos que no estén autorizados.
- Conozca la metodología y procedimientos para el trabajo a realizar en el laboratorio.
- Use los elementos de protección personal dentro del laboratorio exclusivamente.
- Utilice los Elementos de Protección Personal, de acuerdo al riesgo al cual está expuesto y determinados para el tipo de trabajo que realice (gafas, guantes, mascara, etc); revíselos continuamente para que sepa reconocer cuál es el momento de renovarlos, límpielos y desinfectelos frecuentemente, para que así cumplan con la función de protegerlo.
- Recuerde que los elementos de protección personal son de uso individual e intransferible.
- La vestimenta deberá ser apropiada y cómoda, que facilite la movilidad para la actividad que se desarrolla en los laboratorios. Debe cubrir áreas considerables de la piel como los son pantalones (jeans), blusas con mangas.
- Use calzado cerrado que cubra completamente el pie.
- Nunca se deberá emplear recipientes alimenticios para contener productos químicos.
- No utilice vidrio agrietado, el material de vidrio en mal estado aumenta el riesgo de accidente.
- No deben utilizarse para pipetear jeringuillas provistas de aguja hipodérmica.
- Cuando se tiene que hacer una reacción química se debe escoger el recipiente adecuado a la cantidad que se va a usar. Los ensayos se hacen en tubos de ensayo o en placas de gotas, nunca en vasos, matraces, etc.
- Compruebe la temperatura de los materiales antes de cogerlos directamente con las manos.

- No realice trabajos en zonas con ventilación deficiente.
- Si cuenta con sistemas de extracción y renovación mecánica de aire activados, manténgalos siempre en funcionamiento.
- Debe utilizar las campanas extractoras siempre que sea posible.
- No devolver nunca a los frascos de origen los sobrantes de los productos utilizados.
- Al momento de trabajar con ácido, para diluirlo, viértalo sobre el agua, nunca al contrario.
- Nunca debe sacar sustancias químicas del laboratorio sin autorización.
- Nunca se deben arrojar productos sólidos a la pila de lavar. Se vierte el líquido que los acompaña, se lavan por decantación con agua y se disponen en el sitio que se indique.
- Deseche los residuos en los recipientes o contenedores tal como esté indicado en el Plan de Gestión Integral de la Universidad.
- Al finalizar actividades debe recoger materiales, reactivos, equipos, etc, y ubicarlos en sus respectivos lugares.
- Mantenga limpia la cristalería.
- Mantenga los compuestos químicos y el equipo lejos del borde de la mesa de trabajo.
- Si se provocan quemaduras al tocar algo caliente se debe lavar con abundante cantidad de agua fría para eliminar el calor, aplicar pomada para quemaduras que estará en el botiquín.
- En caso de producirse un accidente, quemadura o lesión, comuníquelo inmediatamente al profesor o encargado del laboratorio.
- Debe asegurarse de la desconexión de equipos, agua y gas al terminar el trabajo.
- Antes de salir del laboratorio quítese los elementos de protección y ubíquelos en el espacio destinado para tal fin.
- No reciba visitas durante el desarrollo de su práctica de laboratorio.

1.1.3 Manipulación de sustancias químicas en el laboratorio

Tener conocimiento sobre la peligrosidad, es la base fundamental del manejo de sustancias químicas, ya que la recepción, clasificación, almacenamiento y trasvase de sustancias químicas, son labores que implican riesgo para quienes tienen contacto con este tipo de sustancias, a su vez son generadores de impactos negativos para el ambiente. Por lo tanto, la manipulación segura de los productos químicos, implica describir las responsabilidades, los procedimientos y prácticas principales que se deben llevar a cabo durante cada actividad, minimizando el riesgo de exposición del personal del laboratorio, así como del entorno en general.

Para dar cumplimiento a los objetivos del proyecto, y contribuir con el propósito de la asignatura de adquirir los elementos básicos que permitan estudiar las propiedades petrofísicas de los medios porosos, determinar y analizar las principales propiedades de la roca yacimiento y su interacción con los fluidos para comprender sus implicaciones en la producción y recobro de hidrocarburos, se desarrollaron tres etapas fundamentales que encierran los diferentes procesos que se llevaron a cabo para el cumplimiento del objetivo general:

1.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

En esta etapa se realizó la recolección de información de los contenidos de la asignatura Análisis Petrofísicos, como base para la realización de las guías de laboratorio y ayudas audiovisuales. La principal fuente de información y por la cual se rigen las prácticas de laboratorio es la Norma API RP 40 de 1998, que brinda información sobre los procedimientos a seguir y que es de gran uso en la industria petrolera, además se usaron otras fuentes para fortalecer los principios básicos y usos de cada práctica. En la Tabla 1 se detallan las fuentes de información utilizadas en el desarrollo de los contenidos.

Tabla 1. Fuentes de información

TÍTULO	AUTOR	AÑO	TEMA DE INTERÉS
Norma API RP 40	American Petroleum Institute	1998	Procedimientos de las prácticas de laboratorio
Inyección de agua y gas en yacimientos petrolíferos	Paris de Ferrer Magdalena	2001	Conceptos básicos: Permeabilidad, mojabilidad, presión capilar
Fundamentos de ingeniería de yacimientos	Escobar Macualo Freddy Humberto	2008	Conceptos básicos: Porosidad, permeabilidad, mojabilidad, presión capilar
Petrophysics. Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties	Djebbar Tiab Erle C. Donaldson	2004	Principios básicos prueba Análisis Granulométrico
Petrology of Sedimentary Rocks	Sam Boggs, Jr.	2009	Descripción Litológica
Toma de datos en la libreta de campo, Instituto Colombiano de Geología y Minería	Juan Carlos Caicedo Andrade	2003	Descripción Litológica

TÍTULO	AUTOR	AÑO	TEMA DE INTERÉS
Aspectos de Ingeniería de la Inyección de agua	Forrest F. Craig Jr.	1982	Propiedades básicas de la roca del yacimiento, mojabilidad
Prácticas de Ingeniería de Yacimientos Petrolíferos	Rivera V. José S.		Conceptos básicos de permeabilidad, mojabilidad, saturación y porosidad
Toma de datos en la libreta de campo	Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS	2003	Descripción Litológica
Ingeniería de Yacimientos Petrolíferos	Vasquez Silva Hernando Pérez Palacio Ramiro	1965	Conceptos básicos propiedades de las rocas
Fundamentos de ingeniería de yacimientos	Paris de Ferrer Magdalena	2009	Saturación, permeabilidad, presión capilar, mojabilidad y porosidad
Ingeniería Básica de Yacimientos	Rodríguez José Ramón	2007	Mojabilidad, permeabilidad, saturación de fluidos y presión capilar.

1.3 GUÍAS DE LABORATORIO

A continuación se presentan los recursos que se elaboraron para el desarrollo de la asignatura Análisis Petrofísicos, cada guía esta compuestas por objetivo, principio básico, uso práctico, equipos, elementos, accesorios y procedimiento experimental, cada uno de estos ítems se creó para brindar al estudiante un acercamiento y preparación previa a la realización de cada una de las prácticas.

Las guías cuentan con un formato de datos dispuesto en el anexo de este libro, en el cual, el estudiante debe aplicar los conocimientos adquiridos en el desarrollo de la práctica para diligenciar la información, cálculos, lecturas y medidas que se piden allí.

1.3.1 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

OBJETIVO

Identificar y describir los elementos texturales de muestras de roca.

PRINCIPIO BÁSICO

La práctica de laboratorio consiste en tomar una serie de muestras de roca y realizar una descripción de las principales características en las que se detalle su clasificación, de acuerdo a tamaño, color, matriz, cemento, armazón, consolidación, presencia de fósiles e hidrocarburos, geometría, distribución de granos, entre otros. Gráficos, escalas y tablas se presentan a continuación, desarrolladas por diferentes autores con el fin de estandarizar la clasificación.

Tabla 2. Clasificación de partículas según su tamaño

Clasificación Textural	Tamaño de partícula (mm)
Grava	> 2
Arena	$0,0625 < X < 2$
Lodo	$< 0,0625$

Fuente: Cruz Guevara, L.E. Caballero, V.M.

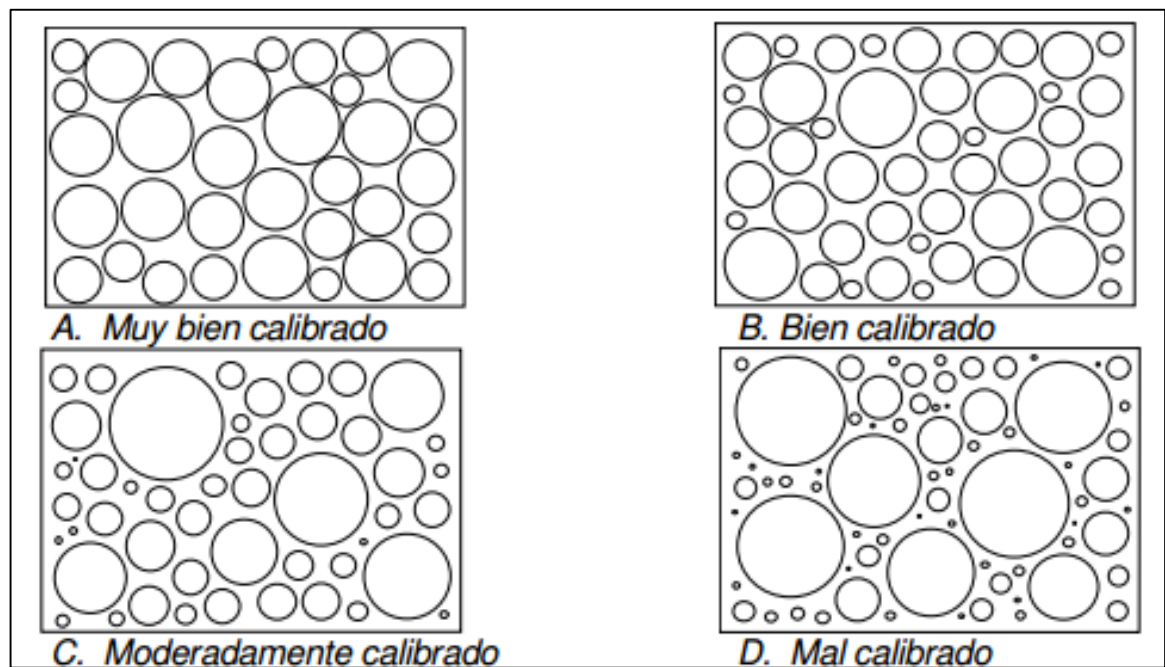
Procesos como el transporte y la depositación generan una amplia variedad de rocas sedimentarias, cada una de ellas caracterizada por propiedades físicas distintas, como la textura en la cual se destacan las características de pequeña escala, representadas en las siguientes figuras:

Figura 1. Redondez



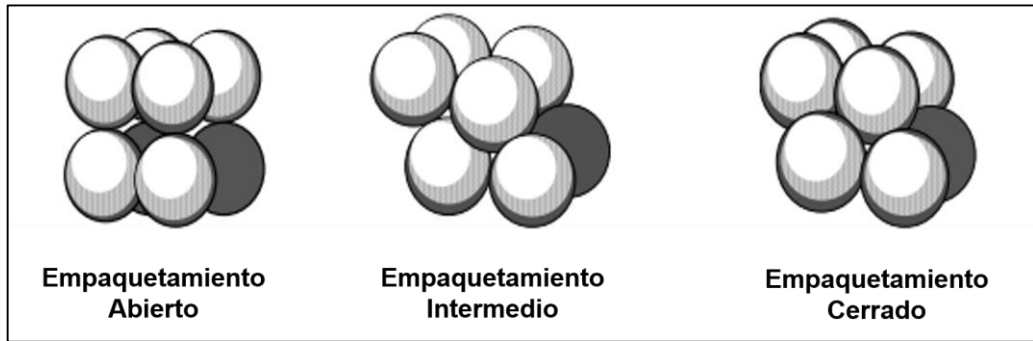
Fuente: Modificado de DATALOG Colombia

Figura 2. Calibrado o selección de las partículas



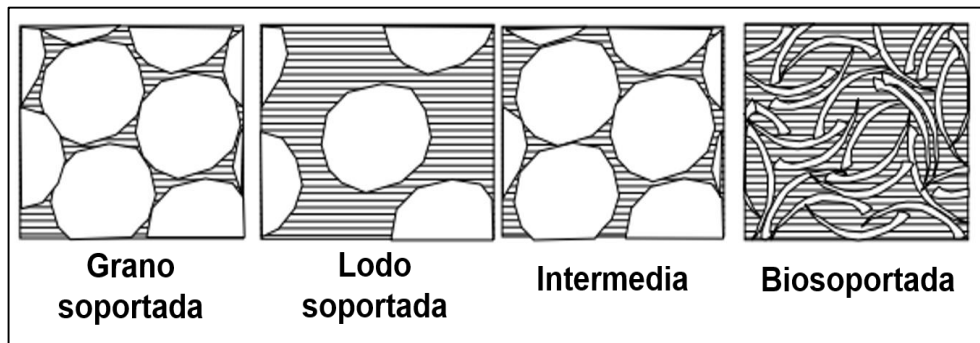
Fuente: Pettijhon, en Boggs, Jr. 1987

Figura 3. Tipos de empaquetamiento



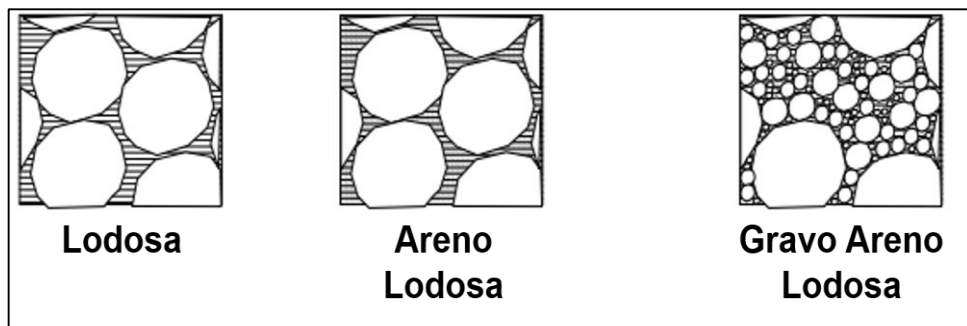
Fuente: Modificado de Graton y Fraser 1935, en Boggs 1987.

Figura 4. Tipos de fábrica presentes en las rocas sedimentarias



Fuente: Modificado de Graton y Fraser 1935, en Boggs 1987.

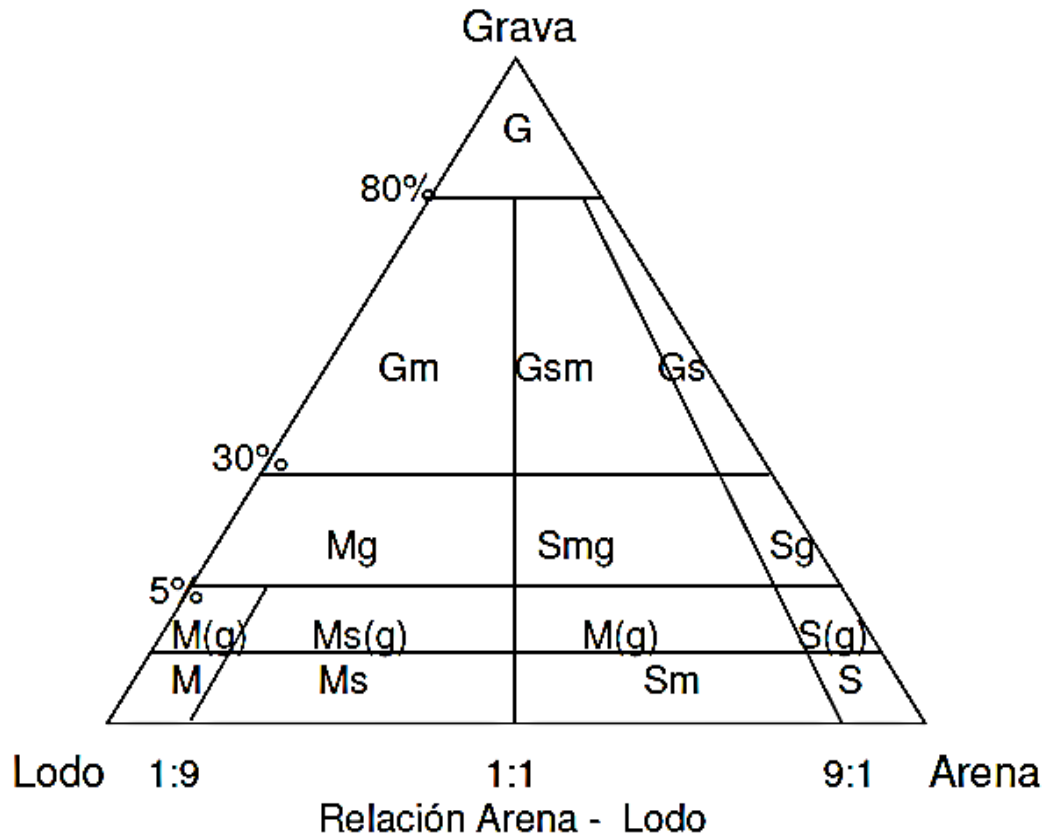
Figura 5. Tipos de matriz presentes en las rocas sedimentarias



Fuente: Cruz Guevara, L. E. Caballero, V. M.

La base de la clasificación textural de las rocas sedimentarias es el tamaño de grano, en el cual la distribución porcentual se divide en 3 grandes grupos: Grava, Arena y Lodo (ver Figura 6).

Figura 6. Diagrama triangular para la clasificación textural de rocas sedimentarias



Fuente: Tomado de Folk 1974, Pág. 28

Tabla 3. Nomenclatura y terminología general para la clasificación de rocas sedimentarias

CLASE TEXTURAL	CLASE TEXTURAL	CLASE TEXTURAL ESPECIFICA
G	Grava*	Grava de guijarros*
	Conglomerados**	Conglomerado de gránulos**
Gs	Grava arenosa	Grava de guijarros arenosa
	Conglomerado arenoso	Conglomerado de cantos arenoso
Gsm	Grava areno lodosa	Grava de gránulos areno lodosa
	Conglomerado areno lodoso	Conglomerado de guijos areno lodoso
Gm	Grava lodosa	Grava de cantos limosa
	Conglomerado lodoso	Conglomerado de guijos lodoso
Sg	Arena gravosa	Arena gruesa guijosa
	Arenisca conglomerática	Arenisca muy fina granular
Smg	Arena lodosa gravosa	Arena fina limo guijosa
	Arenisca lodosa conglomerática	Arenisca gruesa lodosa con cantos
Mg	Lodo gravoso	Lodo guijarroso
	Lodolita conglomerática	Lodolita guijosa
S(g)	Arena ligeramente gravosa	Arena media ligeramente granular
	Arenisca ligeramente conglomerática	Arenisca gruesa ligeramente guijosa
Sm(g)	Arena lodosa ligeramente gravosa	Arena media lodosa ligeramente guijosa
	Arenisca lodosa ligeramente conglomerática	Arenisca fina limosa ligeramente guijosa
Ms(g)	Lodo arenoso ligeramente gravoso	Lodo arenoso fino ligeramente granular
	Lodolita arenosa ligeramente conglomerática	Arcillolita arenosa gruesa ligeramente guijosa
M(g)	Lodo ligeramente gravoso	Arcilla ligeramente guijosa
	Lodolita ligeramente conglomerática	Lodolita ligeramente guijosa
S	Arena (especificar calibrado)	Arena fina bien calibrada
	Arenisca (especificar calibrado)	Arenisca gruesa pobremente calibrada

CLASE TEXTURAL	CLASE TEXTURAL	CLASE TEXTURAL ESPECIFICA
Sm	Arena lodosa	Arenisca muy fina limosa bien calibrada
	Arenisca lodosa	Arenisca gruesa lodosa mal calibrada
Ms	Lodo arenoso	Arcilla arenosa fina
	Lodolita arenosa	Limolita arenosa gruesa
M	Lodo	Limolita arenosa gruesa
	Lodolita (especificar estructura)	Lodolita shale

*Materiales no consolidados (sedimentos)

**Materiales consolidados (rocas)

Fuente: Modificado de Folk 1974, Pág. 29

USO PRÁCTICO

La descripción litológica permite identificar las propiedades más relevantes de la roca, brindando la posibilidad de conocer con más detalle la relación existente entre dichas propiedades y los fluidos que se encuentran en ella, lo que tiene gran influencia en el éxito de los procesos de perforación, tratamiento del crudo, implementación de métodos de recobro y producción.

Características de textura como armazón, matriz, cemento y poros controlan otras propiedades como porosidad, permeabilidad de la roca y densidad.

EQUIPOS, ELEMENTOS Y ACCESORIOS

- Muestras de roca.
- Esteroscopio.
- Vidrios de reloj.
- Ácido clorhídrico diluido al 10%.
- Espátula.
- Brocha.

Figura 7. Muestras de roca



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Identificar las muestras a las cuales se requiere realizar la observación y clasificación, para cada una determinar:
 - Color.
 - Presencia de crudo.
 - Geometría y selección de granos.
 - Tamaño de grano.
 - Presencia de fósiles.
 - Matriz, cemento, armazón.
 - Consolidación.
2. Adicionar una pequeña cantidad de ácido clorhídrico diluido al 10% sobre cada una de las muestras, si efervesce, indica que la muestra tiene presencia de carbonatos.
3. Una vez se hayan determinado las anteriores características, remitirse a las tablas, escalas o gráficas para clasificar las muestras.
4. Llenar el formato de datos (Anexo A) con cada una de las características observadas, determinar el nombre textural para cada roca (ver Figura 6).

1.3.2 PRESERVACIÓN DE NÚCLEOS

OBJETIVO

Mantener la integridad de la roca durante el almacenamiento y transporte.

PRINCIPIO BÁSICO

La muestra de roca se cubre con papel plástico y papel aluminio, las capas van intercaladas, comenzando con papel plástico. La envoltura se hace con el fin que las capas actúen como una barrera al vapor de agua y a los gases, resistente a la degradación de los fluidos que contiene la roca, además el proceso debe realizarse lo más rápido posible. La muestra revestida es atada en sus extremos con alambre dulce y sumergida en parafina derretida, cuando tiene presencia de crudo.

Para la marcación de núcleo, se trazan 2 líneas paralelas, roja y negra, de tal manera que al observar el núcleo de base a tope, la línea roja quede a la derecha de la línea negra. Además se dibuja una línea que referencie pie a pie la profundidad del núcleo.

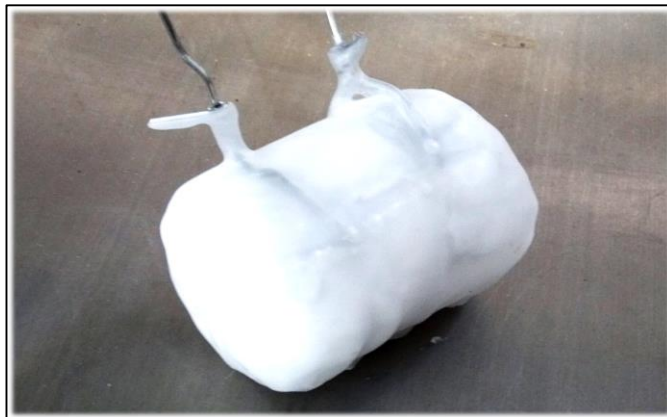
USO PRÁCTICO

De la realización correcta del proceso, depende el éxito de las pruebas que se realizan posteriormente, una práctica negligente o incorrecta en el manejo y preservación del núcleo alteran aún más sus condiciones iniciales. Este proceso permite evitar la evaporación y migración de fluidos, según la Norma API RP 40 no se recomienda el uso de frascos de vidrio desprotegidos, plásticos fácilmente deformables (sino son estabilizados apropiadamente), cartones, recipientes no rígidos y latas herméticas.

EQUIPOS, ELEMENTOS Y ACCESORIOS

- Plug.
- Equipo calentador.
- Papel plástico.
- Papel aluminio.
- Parafina.
- Recipiente de calentamiento.
- Alambre dulce.
- Marcadores indelebles rojo y negro.

Figura 8. Núcleo preservado



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- **Marcación de núcleo**
 1. Describir litológicamente la muestra.
 2. Medir longitud y diámetro al núcleo.

NOTA: Si el núcleo resulta fracturado no perder la secuencia y orientación real.

3. Trazar una línea roja y una línea negra sobre el núcleo.

NOTA: La línea roja a la derecha de la negra, indica que el núcleo se está observando de base a tope.

4. Trazar líneas horizontales indicando pie a pie la profundidad.

- **Preservación con parafina**

1. Envolver la muestra de roca en papel plástico, luego en papel aluminio.

NOTA: Se recomienda revestir la muestra por 4 capas de papel plástico y 4 de papel aluminio, intercaladas.

2. Sujetar la muestra de roca en sus extremos con alambre dulce.
3. Calentar la parafina.
4. Sumergir 4 veces la muestra de roca en la parafina derretida, comprobar que la muestra quede cubierta completamente.
5. Llenar el formato de datos (Anexo B) con las medidas y cálculos correspondientes.

1.3.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

OBJETIVO

Determinar la distribución de tamaño de grano de una muestra de roca.

PRINCIPIO BÁSICO

La práctica consiste en someter una muestra de roca de peso conocido a vibración continua, usando un tamizador; se selecciona una muestra representativa que se obtiene a partir de cuarteo, la cual se pasa a través de una serie de tamices organizados de acuerdo al tamaño de los orificios, los más grandes en la parte superior. Los granos descienden hasta que las partículas más pequeñas son retenidas en una bandeja.²

Para el éxito en el resultado de la prueba es necesario seguir ciertas recomendaciones³: la muestra debe estar libre de hidrocarburos residuales, inspeccionar los tamices con el microscopio para garantizar que no se encuentran dañados, emplear el tiempo suficiente de vibración para permitir que la retención sea efectiva (la duración de la prueba varía de acuerdo con la cantidad y el tipo de muestra que se utiliza en un vibrador dado) y calibrar correctamente la balanza.

En cuanto a la precisión y exactitud, según la Norma API RP 40 de 1998, si la práctica se ejecuta de manera adecuada y se toman las precauciones pertinentes, se espera una desviación del 3% en la muestra total y de 5% en cada tamiz.

USO PRÁCTICO

El análisis granulométrico permite determinar el tamaño de los granos que componen una roca. Es una práctica sencilla y no destructiva que permite volver a

² AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Recommended practices for core analysis. Recommended practice 40. Washington. Second Edition, 1998. 236p.

³ Ibid.

examinar la muestra, garantizando la repetibilidad y la posibilidad de usar la muestra para futuras pruebas.

Además conocer la distribución de tamaño de grano de una muestra de roca es importante para diferentes aplicaciones en la industria⁴:

- A nivel de ingeniería, en el área de completamiento de pozos, con la existencia de sedimentos friables y no consolidados.
- A nivel geológico, para las interpretaciones del ambiente deposicional tanto en sedimentos consolidados como no consolidados.
- A nivel petrofísico, en la evaluación de formaciones para comprender las respuestas de los registros.

EQUIPOS ELEMENTOS Y ACCESORIOS

- Tamizador.
- Muestra de roca.
- Recipiente para muestra.
- Espátula.
- Cepillo de cerdas suaves.
- Cepillo de cerdas fuertes.

⁴ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Op. cit.

Figura 9. Agitador Mecánico



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Pesar inicialmente cada uno de los tamices.
2. Tomar una muestra seca y dispersarla sobre una superficie plana para realizar el cuarteo.
3. Eliminar dos secciones diagonales en el cuarteo y mezclar las restantes.
4. Realizar el cuarteo hasta obtener una muestra representativa de aproximadamente 100 gramos.
5. Pesar la muestra seleccionada y llevarla lentamente al tamiz superior.
6. Ajustar y encender el equipo, seleccionando un tiempo recomendable de 60 minutos.
7. Pesar cada tamiz con la carga retenida.

CÁLCULOS

1. Hallar el porcentaje retenido en cada tamiz

$$\% \text{ Retenido en cada tamiz} = \left[\frac{\text{Peso tamiz cargado} - \text{Peso tamiz vacío}}{\text{Peso total de la muestra}} \right] * 100$$

2. Calcular el porcentaje retenido acumulado

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \sum \% \text{ Retenido en cada tamiz}$$

3. Llenar el formato de datos (Anexo C) con los cálculos y pesos correspondientes.

1.3.4 CORTE DE PLUGS

OBJETIVO

Extraer una muestra de roca (plug) de un núcleo usando el taladro extractor de muestras.

PRINCIPIOS BÁSICOS

Este método consiste en la extracción de un plug o muestra de roca perforado en un punto específico del núcleo. Para núcleos cubiertos en PVC, la cara perforada del material debe ser retirada antes de continuar con la extracción, de lo contrario va actuar sobre la broca perjudicando la muestra.

Se prepara el fluido lubricante, se selecciona el diámetro de la broca del taladro y se comienza a perforar ejerciendo presión y peso sobre esta. Una vez se termina con la perforación del núcleo, se extrae, se referencia con la información necesaria y se lleva a la perfiladora donde se corrigen los bordes y se le da forma cilíndrica, se determina el diámetro, la longitud, el peso y el volumen total del plug.

USO PRÁCTICO

Los plugs son la base para la realización de pruebas como porosidad, permeabilidad, saturación de fluidos, entre otras, ya que sus equipos están diseñados para trabajar muestras cilíndricas.

EQUIPOS, ELEMENTOS Y ACCESORIOS

- Taladro extractor de muestras de núcleo.
- Perfiladora.

- Núcleo.
- Destornillador de pala.
- Tanque con fluido lubricante.
- Pie de rey.
- Desecador.
- Balanza analítica.

Figura 10. Núcleo



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Fijar correctamente el núcleo en el portanúcleos del taladro y sujetarlo con la prensa.
2. Encender el taladro y perforar intermitentemente hasta cortar la cara de PVC que cubre el núcleo.
3. Retirar la tapa de PVC cuidadosamente con ayuda de un destornillador de pala.

Nota: La tapa de PVC se retira, de no hacerlo, esta va a actuar sobre la broca y puede afectar la muestra.

4. Perforar el núcleo manteniendo una velocidad de penetración constante, hasta lograr la extracción del plug.
5. Extraer cuidadosamente el plug del núcleo y referenciarlo con la información correspondiente.
6. Ubicar el plug en el portamuestra de la perfiladora, girando la manivela en sentido contrario a las manecillas del reloj para asegurarlo.
7. Encender la perfiladora, aumentar su velocidad y girar la manivela de desplazamiento en sentido contrario a las manecillas del reloj, iniciar a perfilar hasta traspasar el plug.

NOTA: Realizar el procedimiento de perfilación a los dos extremos del plug.

8. Tomar 4 medidas de longitud y diámetro a la muestra con ayuda del pie de rey (para obtener una medida correcta, la muestra se debe ubicar transversal a la medida que se desee realizar) y realizar un promedio para cada una de ellas.
9. Pasar la muestra a un desecador y pesarla en la balanza.

CÁLCULOS

1. Determinar el volumen total de la muestra de roca (plug)

$$V_T = \frac{\pi * D^2 * L}{4}$$

2. Llenar el formato de datos (Anexo D) con las medidas y cálculos correspondientes.

1.3.5 FLUORESCENCIA

OBJETIVOS

- Determinar la presencia de crudo en una muestra de roca.
- Determinar la gravedad API de muestras de crudo expuestas a luz ultravioleta.

PRINCIPIOS BÁSICOS

El método se basa en aprovechar la fluorescencia característica del crudo, que al ser expuesto a iluminación ultravioleta, emite una luz de color. El desarrollo del proceso consiste en aplicar una pequeña cantidad de cada muestra de crudo en el portamuestras, ubicarlo en el fluoroscopio y determinar la gravedad API del crudo de acuerdo al color emitido (ver Tabla 4)

Tabla 4. Gravedad API de acuerdo al color emitido por el crudo

GRAVEDAD API	COLOR
< 15 °	Marrón
15 - 25°	Anaranjado (dorado)
25 - 35°	Amarillo / crema
35 - 45°	Blanco
>45°	Azul / Blanco / Violeta

USO PRÁCTICO

La fluorescencia es característica de los crudos, gracias a ella es posible determinar la presencia de hidrocarburos en muestras de roca. El método no requiere altas cantidades de crudo (basta con 1 ó 2 gotas) para la realización de la prueba.

EQUIPOS, ELEMENTOS Y ACCESORIOS

- Fluoroscopio.
- Muestras de crudo.
- Portamuestras.
- Gotero.

Figura 11. Fluoroscopio



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Estimación Gravedad API

1. Introducir una o dos gotas de crudo en el portamuestras.
2. Encender el fluoroscopio.
3. Ubicar el portamuestras en el fluoroscopio.
4. Observar el color emitido por las muestras, ante la presencia de luz ultravioleta.
5. Una vez identificado el color, remitirse a la escala de referencia y determinar el tipo de crudo y gravedad API.
6. Llenar el formato de datos (Anexo E) con la información correspondiente.

1.3.6 MOJABILIDAD VISUAL

OBJETIVO

Observar el comportamiento de una muestra de arena con diferente mojabilidad (agua - aceite), al entrar en contacto con un fluido.

PRINCIPIOS BÁSICOS

La mojabilidad se conoce como la tendencia o habilidad de la fase de un fluido de adherirse preferencialmente a una superficie sólida, en presencia de una segunda fase inmiscible, en el caso de yacimientos, la superficie sólida es la roca y los fluidos son: agua, petróleo y gas⁵.

Se adiciona una pequeña cantidad de arena en una probeta que contenga agua de formación y se observa la dispersión de los granos hasta que descienden al fondo de esta, luego se permite que la misma arena caiga en una probeta que contenga un fluido que represente el aceite (crudo, aceite mineral, diesel, etc.) y se observa su efecto dispersivo.

Se determina que la arena prefiere estar mojada por el fluido en el cual se dispersa de manera homogénea al descender.

USO PRÁCTICO

La mojabilidad es una propiedad del yacimiento que puede cambiar desde el momento de la perforación, al usar lodo con características diferentes a las del fluido de la formación o al presentarse un cambio en la presión y la temperatura.

Existe una serie de factores que dependen de la mojabilidad, según Magdalena Paris de Ferrer⁶, entre ellos se encuentran:

⁵ PARIS DE FERRER. Op. cit., p 268.

⁶ Ibid.

- Localización y saturación de agua irreducible.
- La distribución de los fluidos en el yacimiento, esto es, la localización del petróleo y del agua en el medio poroso.
- El valor y localización del petróleo residual.
- El mecanismo de desplazamiento.

EQUIPOS ELEMENTOS Y ACCESORIOS

- Arena de formación.
- Probeta.
- Aceite Mineral.
- Agitador de vidrio.
- Espátula.
- Tenso activo (jabón en polvo).
- Agua de formación.

Figura 12. Arena de formación



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Llenar la probeta con agua de formación.

2. Introducir la arena dentro de la probeta y observar su dispersión hasta llegar al fondo.
3. Luego, cambiar la mojabilidad de la arena aplicándole aceite.
4. Adicionar a la probeta la arena mojada por aceite y observar su dispersión hasta alcanzar el fondo.
5. Agregar arena de formación y observar la dispersión de los granos a través del agua.
6. Agregar un tenso activo y observar el comportamiento de la mojabilidad.
7. Añadir nuevamente arena de formación seca a la probeta y observar su dispersión.
8. Luego dejar caer arena de formación dentro de una probeta que contenga aceite y observar la dispersión de los granos.
9. Llenar el formato de datos (Anexo F) con la descripción e información correspondiente.

1.3.7 SATURACIÓN DE FLUIDOS (MÉTODO DEAN STARK)

OBJETIVO

Determinar la saturación de crudo y agua (%) presente en una muestra de roca, bajo los lineamientos del método de extracción por destilación (Dean Stark) norma API RP 40 de 1998.

PRINCIPIOS BÁSICOS

La saturación de fluidos por el método Dean Stark, consiste en someter una muestra de roca a un proceso de destilación - extracción, en el cual el aceite contenido en la muestra es desplazado por el goteo constante de solvente (tolueno) sobre ella, y el agua es retirada por tolueno que asciende y la desplaza en forma de vapor, generalmente el desplazamiento de agua de la muestra ocurre en las primeras 24 horas.

USO PRÁCTICO

Determinar la saturación de fluidos es útil para realizar simulación de yacimientos, estimar reservas e implementar métodos de recobro.

El método es parte inicial del análisis de núcleos que provienen del campo saturados con fluidos (agua y crudo), los cuales se remueven y cuantifican para realizar pruebas posteriores como porosidad y permeabilidad.

Además de ser un método no destructivo, la determinación del volumen de agua es bastante exacto, se considera un método sencillo y no exige rigurosa atención.

EQUIPOS, ELEMENTOS Y ACCESORIOS

- Unidad de destilación – extracción.
- Horno de secado.
- Desecador.
- Dedal de celulosa.
- Solvente (Tolueno).
- Balanza analítica.

Figura 13. Equipo Dean Stark



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Pasar el dedal previamente colocado en el horno al desecador.
2. Pesar el dedal y la muestra saturada con exactitud de 1 miligramo.

NOTA: Se debe realizar este proceso lo más rápido posible para minimizar la evaporación de fluidos por exposición atmosférica.

3. Introducir el plug en el dedal de celulosa, cubriendo con algodón la parte superior e inferior, con el fin de evitar la erosión de la muestra por el goteo constante generado en el equipo de extracción.
4. Pesar el conjunto dedal-muestra.
5. Colocar el conjunto dedal-muestra dentro del equipo de extracción.
6. Encender el equipo de calentamiento aproximadamente a 116°C.
7. Verificar que la temperatura del sistema de enfriamiento de los condensadores sea menor o igual a 22°C.
8. Tomar registro del volumen de agua extraído, hasta que sea constante (aproximadamente las primeras 24 horas).
9. Observar frecuentemente los cambios ocurridos en el proceso destilación-extracción.
10. Detener el proceso cuando el tolueno en el cilindro Soxhlet muestre un color totalmente transparente.
11. Hacer control de calidad en un recipiente con acetona durante 6 horas y verificar que no manche la acetona, si lo hace debe volver al destilador-extractor hasta que el control de calidad sea positivo.
12. Desmontar el equipo, sacar el conjunto dedal-muestra y dejarlo reposar a temperatura ambiente (aproximadamente 30 min).
13. Pasar el conjunto dedal-muestra al horno.

NOTA: La temperatura del horno depende de la mineralogía de la roca, remitirse a la Tabla 5 tomada de la norma API RP 40 de 1998.

14. Llevar el conjunto dedal - muestra al desecador por 2 horas.

15. Pesarse el conjunto dedal muestra seco.

Tabla 5. Métodos de secado de las muestras de Núcleo

TIPO DE ROCA	MÉTODO	TEMPERATURA°C
Arenisca (bajo contenido de arcilla)	Horno convencional	116
	Horno de vacío	90
Arenisca (alto contenido de arcilla)	Horno de humedad, 40% de humedad relativa	63
carbonato	Horno convencional	116
	Horno de vacío	90
Gypsum- bearing	Horno de humedad, 40% de humedad relativa	60
Shale u otra roca con alto contenido de arcilla	Horno de humedad, 40% de humedad relativa de vacío convencional	60

Fuente: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Recommended practices for core analysis. Recommended practice 40.

CÁLCULOS

1. Volumen total:

$$V_T = \frac{\pi * D^2 * L}{4}$$

2. Peso salmuera extraída:

$$W_{SE} = \rho_S * V_{SE}$$

3. Peso crudo extraído:

$$W_{OE} = W_i - W_{SE} - W_P$$

4. Gravedad Específica del crudo

$$GE = \frac{141,5}{\text{°API} + 131,5}$$

5. Densidad del crudo:

$$\rho_O = GE * \rho_S$$

6. Volumen de crudo extraído:

$$V_{OE} = \frac{W_{OE}}{\rho_O}$$

7. Volumen poroso:

$$V_{POROSO} = V_{SE} + V_{OE}$$

8. Porcentaje volumétrico de Salmuera:

$$\%_{0V}SALMUERA = \frac{V_{SE}}{V_{POROSO}} * 100$$

9. Porcentaje volumétrico de crudo:

$$\%_{0V}CRUDO = \frac{V_{OE}}{V_{POROSO}} * 100$$

10. Llenar el formato de datos (Anexo G) con las medidas y cálculos correspondientes.

1.3.8 POROSIDAD MÉTODO BOYLE

OBJETIVO

Determinar la porosidad efectiva de una muestra de roca (plug), usando el porosímetro (método de Boyle).

PRINCIPIOS BÁSICOS

Este método permite calcular el volumen de grano de una muestra de roca (plug), medido por el desplazamiento de gas (Helio, Nitrógeno o Aire) usando el porosímetro, el cual se rige por la ley de Boyle, “cuando la temperatura permanece constante, el volumen de una masa dada de gas ideal varía inversamente con su presión absoluta”⁷.

La práctica consiste en el desplazamiento de Helio a través de la muestra de roca; el Helio entra en una celda de referencia con volumen conocido a presión predeterminada, luego al Matrix Cup el cual tiene en su interior la muestra de roca (plug), dando lugar a una menor presión de equilibrio, de la cual es calculado el volumen de grano.

Para calcular el volumen poroso, se resta del volumen total de la muestra, el volumen de grano y a partir de este se determina la porosidad.

⁷ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Recommended practices for core analysis. Recommended practice 40. Op. cit.

Tabla 6. Volumen discos MATRIX CUP

N° DISCO	1"	1.5"
1	14.314	43.293
2	11.337	28.96
3	6.462	21.76
4	6.434	7.282
5	4.899	
6	1.739	
TOTAL	45.185	101.295

Fuente: Manual de Operaciones del equipo porosímetro Core Pet.

Tabla 7. Volumen conexiones externas porosímetro

VOLUMEN CONEXIONES EXTERNAS	
V1	40.66 cm ³
V3	7.7 cm ³

Fuente: Manual de Operaciones del equipo porosímetro Core Pet.

USO PRÁCTICO

La porosidad es una medida de la capacidad de almacenamiento de fluidos que posee una roca, que la convierte en factor determinante para establecer el accionar de un proyecto de interés petrolero. “La recuperación total de petróleo de un yacimiento es función directa de la porosidad, ya que ella determina la cantidad de petróleo presente para cualquier porcentaje de saturación de petróleo dado”⁸

⁸ PARIS DE FERRER. Op. cit.

EQUIPOS ELEMENTOS Y ACCESORIOS

- Porosímetro.
- Bomba de vacío.
- Pie de Rey.

Figura 14. Porosímetro de Boyle



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Tomar 4 medidas de longitud y diámetro a la muestra de roca (plug) con ayuda del pie de rey (para obtener una medida correcta, la muestra se debe ubicar transversal a la medida que se desee realizar) y realizar un promedio para cada una de ellas.
2. Abrir la válvula del cilindro de helio
3. Encender el equipo e introducir la muestra de roca (plug) utilizando los discos necesarios para cubrir el Matrix Cup; referenciar en el formato de datos los discos no utilizados y el volumen de estos (V_{DNU}).

NOTA: Tener en cuenta que los discos deben ir en el fondo del MATRIX CUP y sobre ellos la muestra.

4. Verificar que la válvula 1 este en posición MATRIX CUP, pasar la válvula 3 a VACUUM y encender la bomba.
5. Cuando el transductor de presión se estabilice y marque 3 valores iguales de presión, este valor se establece como presión de vacío (P_v).

NOTA: Permitir alrededor de 30 segundos para que haya equilibrio en la presión.

6. De manera simultánea llevar a posición OFF las válvulas 1 y 3 y apagar la bomba de vacío.
7. Girar la válvula 3 a la posición HELIUM (se da entrada al Helio).

NOTA: Observar como la presión del manómetro de helio al igual que la temperatura aumentan.

8. Registrar la presión inicial (P_i) cuando el transductor de presión marque tres valores iguales.

NOTA: Permitir alrededor de 30 segundos para que haya equilibrio en la presión.

9. Cerrar la válvula 3.
10. Pasar la válvula 1 a posición MATRIX CUP (el gas se expande dentro de la cámara de muestras), esperar hasta que el transductor se estabilice y marque tres valores iguales de presión, registrar la presión final (P_f).

11. Aliviar presión girando la válvula 1 de la posición MATRIX CUP a CORE HOLDER varias veces.

CÁLCULOS

1. Registrar los valores de presión:

- Presión de Vacío (P_V).
- Presión absoluta del volumen de referencia inicial (P_i).
- Presión absoluta expandida (P_f).

2. Volumen total de la muestra de roca:

$$V_T = \frac{\pi * D^2 * L}{4}$$

3. Volumen conexiones externas:

$$V_2 = \frac{[P_f * (V_1 + V_3)] - [P_i * (V_1 + V_3)]}{P_V - P_f}$$

$$X = \frac{V_2(P_V - P_f) + [(V_1 + V_3) * (P_i - P_f)]}{P_f - P_V}$$

4. Volumen de grano:

$$V_G = V_{DNU} - X$$

5. Porosidad Efectiva de la muestra:

$$\phi = \left[1 - \frac{V_G}{V_T}\right]$$

6. Llenar el formato de datos (Anexo H) con las medidas y cálculos correspondientes.

1.3.9 POROSIDAD POR SATURACIÓN

OBJETIVO

Determinar la porosidad de una muestra de roca (plug), por el método de saturación.

PRINCIPIOS BÁSICOS

La porosidad por saturación se calcula por determinación gravimétrica del volumen poroso, la muestra seca y limpia es puesta en un desecador el cual tiene esferas de vidrio en su interior, con el fin de evitar un contacto directo plug-desecador y acumulación de burbujas de aire, este es conectado por una manguera a un Erlenmeyer con salmuera de concentración de acuerdo a las propiedades de la formación de la cual se recuperó el núcleo, luego el sistema desecador-Erlenmeyer se somete a vacío por medio de una bomba en un tiempo de 8 horas, para muestras de muy baja permeabilidad el tiempo de vacío debe ser mayor.

La salmuera se transfiere del Erlenmeyer al desecador, comprobando que el plug quede cubierto completamente, haciendo vacío nuevamente por un lapso de tiempo de 8 a 48 horas, luego se pesa la muestra retirando el exceso de agua en su superficie, la diferencia de peso de la muestra seca y la muestra saturada determinan el volumen poroso y de ahí la porosidad.

USO PRÁCTICO

Si el volumen de poros se encuentra interconectado se convierte en porosidad efectiva, la cual favorece el flujo de fluidos de un yacimiento. Además es un parámetro útil a la hora de implementar un método de recobro, determinar el OOIP (Original Oil in Place), entre otros.

EQUIPOS ELEMENTOS Y ACCESORIOS

- Desecador.
- Erlenmeyer con desprendimiento lateral.
- Plancha.
- Bomba de vacío.
- Esferas de vidrio.
- Probeta con líquido saturante.
- Balanza analítica.
- Pie de rey.

Figura 15. Plancha, Erlenmeyer y Desecador



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Pesar la muestra (plug) limpia y seca.
2. Tomar 4 medidas de longitud y diámetro a la muestra con ayuda del pie de rey (para obtener una medida correcta, la muestra se debe ubicar transversal a la medida que se desee realizar) y realizar un promedio para cada una de ellas.

3. Preparar salmuera con una concentración de acuerdo a las propiedades de la formación de la cual se recuperó el núcleo.
4. Introducir la muestra de roca (plug) en el desecador, el cual tiene las esferas de vidrio en su interior.
5. Transferir la salmuera de la probeta al Erlenmeyer.
6. Encender la plancha por un tiempo de 8 horas
7. Prender la bomba para hacer vacío por 8 horas, para muestras de muy baja permeabilidad el periodo de evacuación debe ser de 12 a 18 horas.

NOTA: El vacío se realiza con intervalos de encendido-apagado de 40 minutos, el tiempo varía de acuerdo a la bomba que se use.

8. Apagar la bomba y la plancha, luego pasar la salmuera del Erlenmeyer al desecador.
9. Comprobar que el plug este cubierto completamente por la salmuera.
10. Encender la bomba y hacer vacío nuevamente por un lapso de tiempo mínimo de 8 horas y máximo de 48 horas.
11. Retirar el plug del desecador, limpiando exceso de agua en su superficie.
12. Tarar la balanza para pesar el plug saturado.

13. Pesar el plug saturado.

CÁLCULOS

1. Volumen total de la muestra de roca (plug):

$$V_T = \frac{\pi * D^2 * L}{4}$$

2. Volumen Agua que saturó al Plug:

$$V_{WP} = \frac{W_S - W_i}{\rho_{SL}}$$

3. Porosidad Efectiva de la muestra de roca:

$$\Phi = \frac{V_{WP}}{V_T} * 100$$

4. Llenar el formato de datos (Anexo I) con las medidas y cálculos correspondientes.

1.3.10 PERMEABILIDAD AL GAS

OBJETIVO

Determinar la permeabilidad al gas de muestras de roca consolidadas (plug), usando el permeámetro semiautomatizado CORE PET AUT-SSGP-1.

PRINCIPIOS BÁSICOS

La permeabilidad al gas se determina por medio del software PERMEABILIDAD ESTADO ESTABLE del permeámetro CORE PET AUT-SSGP-1, el equipo cuenta con suministro de gas Nitrógeno, una bomba eléctrica y una bomba manual hidráulica, la bomba eléctrica se utiliza para hacer vacío y expandir la manga de caucho que permite el montaje y el desmonte de la muestra de roca (plug), la bomba manual hidráulica se utiliza para confinar la muestra entre 400 y 5000 psi, esta bombea aceite mineral entre el cuerpo del Core Holder y la manga de caucho que contiene la muestra de roca.

El software mide la permeabilidad al gas y la permeabilidad Klinkenberg, para realizar el proceso es necesario contar con información general de la muestra como nombre o identificación de la muestra, profundidad, longitud, diámetro, entre otras. La ventana principal del software muestra la lectura de los instrumentos y una gráfica presión-tiempo, finalmente este imprime una tabla con la información suministrada y el valor de permeabilidad calculado.

USO PRÁCTICO

La permeabilidad cuantifica el grado con el que un medio poroso deja pasar fluidos a través de él, es dependiente de múltiples factores como el medio poroso, invasión de fluidos, tamaño de grano, migración de finos, entre otros. La permeabilidad al gas determinada por el equipo CORE PET AUT-SSGP-1 se halla

bajo una herramienta sistematizada, donde el software ejerce control sobre el permeámetro brindando de manera rápida y sencilla la medida de permeabilidad, vital para procesos de producción, aplicación de métodos de recuperación de crudo, desplazamiento de fluidos, simulación de yacimientos, entre otros.

EQUIPOS ELEMENTOS Y ACCESORIOS

- Permeámetro.
- Muestra de roca (plug).
- Pie de rey.

Figura 16. Permeámetro



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Encender el permeámetro, luego encender el computador e iniciar el software de permeabilidad.
2. Abrir la válvula del cilindro de Nitrógeno.
3. Introducir la muestra en el Core Holder.

4. Abrir la válvula de BAJA PRESIÓN y encender la bomba hasta que el transductor de presión registre un valor menor o igual a 30 libras.
5. Cerrar la válvula de BAJA PRESIÓN, apagar la bomba y abrir la válvula de ALTA PRESIÓN.
6. Aumentar la presión del sistema con la bomba manual, hasta alcanzar una presión de confinamiento por encima de 900 libras.
7. Cerrar la válvula de ALTA PRESIÓN.
8. Introducir los datos en la ventana emergente del software e iniciar una nueva corrida de este.
9. Observar los cambios en los transductores de flujo másico de alta y baja.
10. El software hace el proceso por etapas y finalmente establece el valor de permeabilidad de la muestra.
11. Automáticamente el software imprime la tabla de resultados.
12. Los transductores de flujo másico vuelven a cero.
13. Llenar el formato de datos (Anexo J) con la información, cálculos y medidas correspondientes.

1.3.11 PERMEABILIDAD ABSOLUTA AL AIRE

OBJETIVO

Determinar la permeabilidad absoluta al aire de muestras consolidadas (plug), usando el permeámetro de Ruska.

PRINCIPIOS BÁSICOS

“La permeabilidad de una roca se define como su conductividad a los fluidos o la facultad que posee para permitir que estos se muevan a través de la red de poros interconectados”.⁹ El principio que se usa para determinar la permeabilidad de la muestra, es la Ley de Darcy, donde es necesario conocer la viscosidad del gas (N₂), la tasa de inyección de gas, el ΔP , la longitud y área transversal de la muestra.

Ley de Darcy

$$K = \frac{\mu * Q * L}{A * \Delta P}$$

K= Permeabilidad (Darcy)

μ = Viscosidad del gas, N₂ (cp)

Q= Tasa de gas (cm³/s)

L= Longitud de la muestra (cm)

A= Área Transversal (cm²)

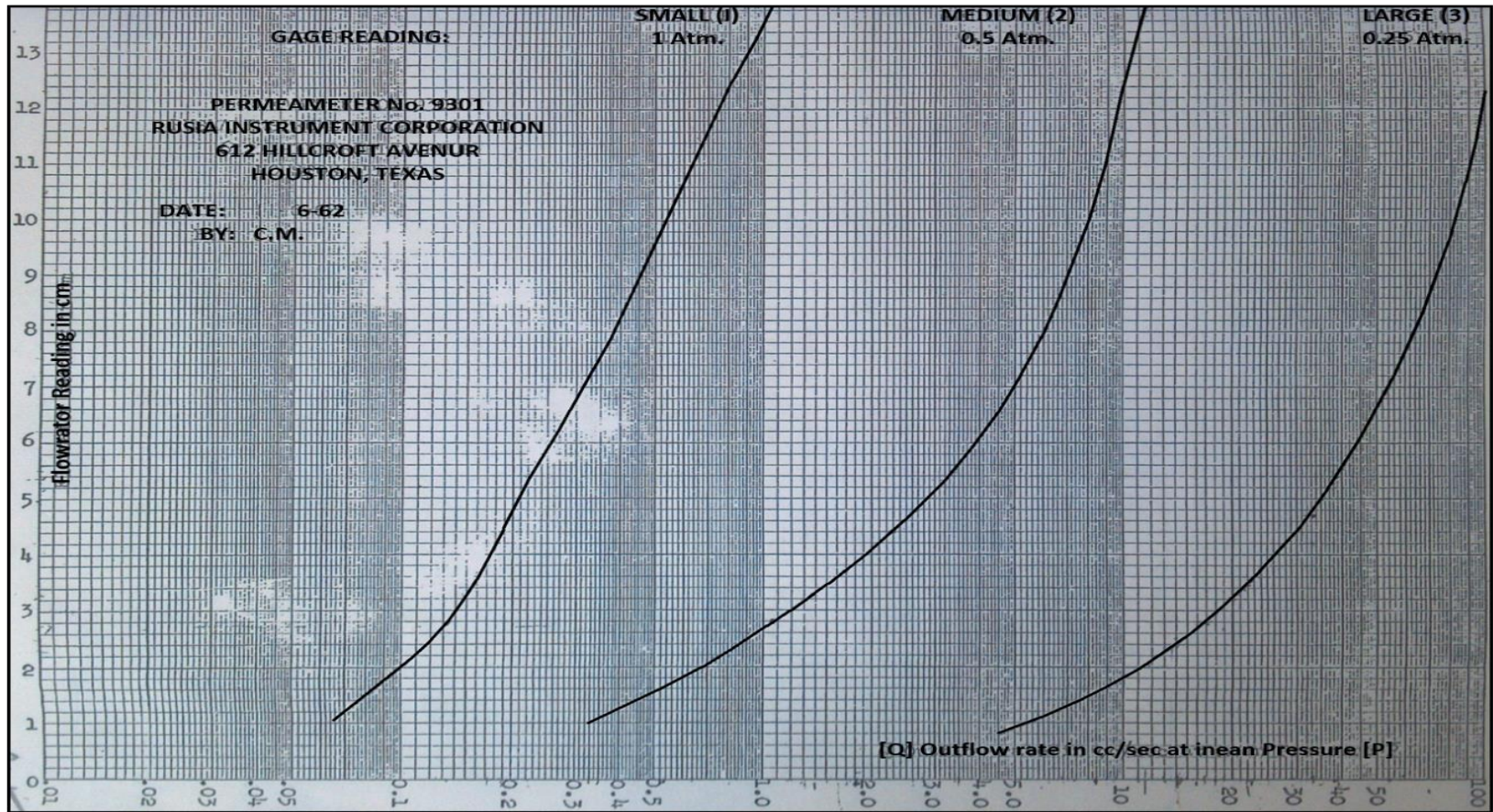
ΔP = Gradiente de presión (atm)

El proceso consiste en medir la tasa de flujo de un gas (de viscosidad conocida) generalmente Nitrógeno, que pasa a través de la muestra generando un delta de presión. La permeabilidad que se halla con este equipo es la absoluta al gas, también llamada específica, definida como “la conductividad de una roca o material poroso cuando está saturado completamente de un solo fluido”¹⁰.

⁹ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Recommended practices for core analysis. Recommended practice 40. Op. cit.

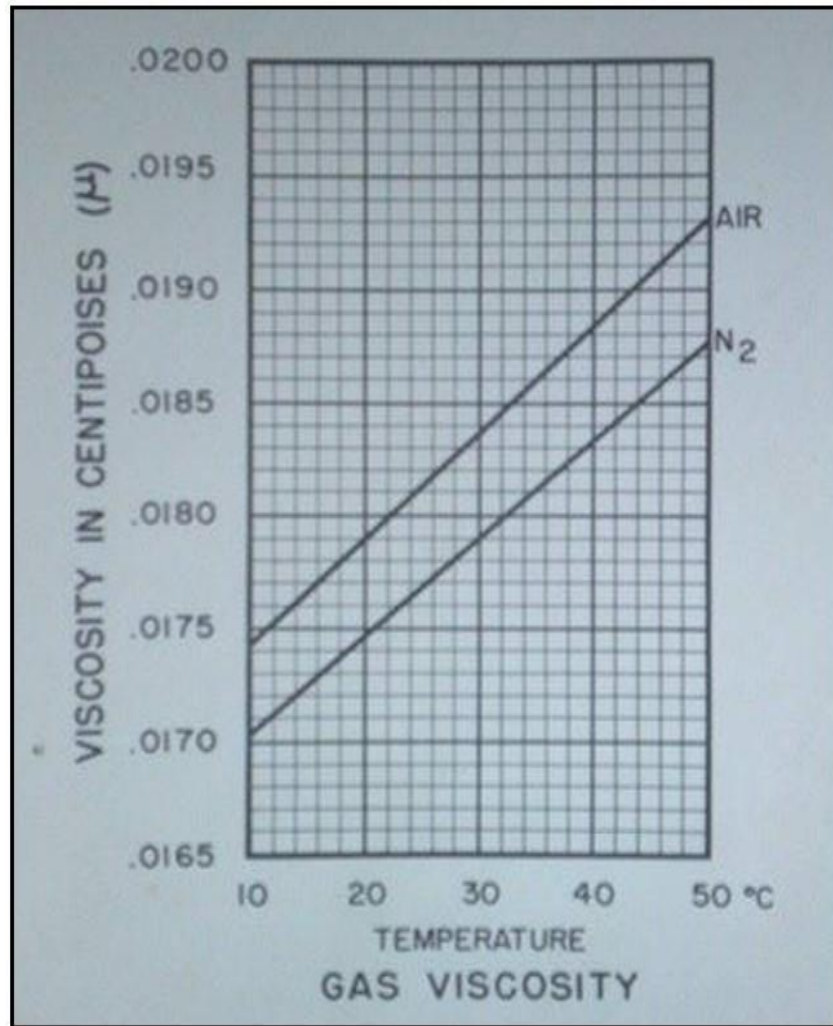
¹⁰ Ibid.

Gráfica 1. Altura medidor de flujo en función del caudal (Q)



Fuente: RUSKA LIQUID PERMEAMETER, CAT. No. 1013, serial No. 9342

Gráfica 2. Viscosidad del Gas en función de la Temperatura



Fuente: RUSKA LIQUID PERMEAMETER, CAT. No. 1013, serial No. 9342

USO PRÁCTICO

La permeabilidad definida como la capacidad de la roca para permitir que un fluido pase a través de ella, generando un diferencial de presión; está directamente relacionada con la producción, la aplicación de métodos de recobro, la simulación de yacimientos, entre otros.

El método ofrece las siguientes ventajas¹¹:

- Fácil de usar, no requiere técnicas especiales de saturación.
- No reactivo con la roca, no corrosivo para los equipos.
- No se requiere limpieza después de las mediciones.

EQUIPOS, ELEMENTOS Y ACCESORIOS

- Permeámetro Ruska a gas.
- Muestra de roca (plug).
- Termohigrómetro.
- Pie de rey.

Figura 17. Permeámetro Ruska a Gas



¹¹ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Recommended practices for core analysis. Recommended practice 40. Op. cit.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Tomar 4 medidas de longitud y diámetro a la muestra con ayuda del pie de rey (para obtener una medida correcta, la muestra se debe ubicar transversal a la medida que se desee realizar) y realizar un promedio para cada una de ellas.
2. Verificar que la válvula 1 este en modo cerrado, abrir la válvula del cilindro de Aire comprimido y regular la presión de confinamiento a 200 psi, con la válvula 1 en modo CERRADO.
3. Pasar la válvula 1 a posición VACÍO y encender la bomba.
4. Abrir el Core Holder e introducir la muestra de roca (plug).
5. Apagar la bomba de vacío.
6. Colocar y asegurar la tapa del Core Holder.
7. Llevar la válvula 1 a modo PRESIÓN.
8. Abrir la válvula del cilindro de N₂, regular la presión hasta 200 psi.
9. Pasar la válvula de medidores de flujo a ALTA y abrir suavemente el regulador de flujo hasta alcanzar una presión de 0,25 Atm. en el manómetro.
 - Permeabilidad alta (0 – 0.25 atm)
 - Permeabilidad media (0.25 – 0.5 atm)
 - Permeabilidad baja (0.5 – 1 atm)
10. Registrar la altura de ascenso de la esfera en el medidor de ALTA.

11. Si el ascenso de la esfera es mínimo o nulo, cerrar el regulador de flujo y pasar la válvula de medidor de flujo a MEDIA.
12. Abrir suavemente el regulador de flujo hasta alcanzar una presión de 0,5 Atm. en el manómetro.
13. Registrar la altura de ascenso de la esfera en el medidor de MEDIA.
14. Si el ascenso de la esfera es mínimo o nulo, cerrar el regulador de flujo y pasar la válvula de medidor de flujo a BAJA.
15. Abrir suavemente el regulador de flujo hasta alcanzar una presión de 1 Atm. en el manómetro.
16. Registrar la altura de ascenso de la esfera en el medidor de BAJA.
17. Cerrar el regulador de flujo.
18. Cerrar el regulador de presión del cilindro de Aire comprimido.
19. Pasar la válvula 1 a posición EXHOSTO y luego a posición vacío.
20. Encender la bomba de vacío y retirar la muestra del Core Holder.
21. Remitirse a la gráfica 1 con el valor alcanzado por la esfera en el medidor de flujo y hallar el valor de caudal (Q).
22. Hallar la viscosidad del nitrógeno en función de la temperatura, ver gráfica 2.
23. Hallar el valor de permeabilidad con los datos obtenidos, usando la ley de Darcy.

CÁLCULOS

1. Hallar el área transversal de la muestra.

$$A_T = \frac{\pi * D_p^2}{4}$$

2. Hallar volumen total

$$V_T = \frac{\pi * D_p^2 * L_p}{4}$$

3. Hallar la permeabilidad usando la Ley de Darcy

$$K = \frac{\mu * Q * L}{A_T * \Delta P}$$

4. Llenar el formato de datos (Anexo K) con la información, cálculos y medidas correspondientes.

1.3.12 PRESIÓN CAPILAR

OBJETIVO

Construir las curvas de presión capilar en función de la saturación de agua para cada muestra.

PRINCIPIO BÁSICO

Cuando dos fluidos inmiscibles están en contacto, existe una discontinuidad en la presión entre ellos que dependerá de la curvatura de la interfase que los separa. Esta diferencia de presión se denomina presión capilar¹².

En este método la presión capilar es determinada bajo la técnica de plato poroso, donde la muestra de roca es previamente saturada con salmuera, cuya concentración se establece de acuerdo a las propiedades de la formación de la cual se recuperó el núcleo. En la celda con el plato poroso saturado, la muestra se somete a un proceso de drenaje con diferentes valores de presión.

Cuando se trabajan altas permeabilidades, el equipo se opera con baja presión, es decir, 1, 2, 5, 10 y 15 psi, en caso que la permeabilidad sea baja se opera con alta presión con valores de 20, 30, 50, 100 y 200 psi. Para cada valor de presión se determina la saturación de agua por medición gravimétrica.

USO PRÁCTICO

Este método permite determinar parámetros como saturación de agua irreducible, homogeneidad del yacimiento, nivel de agua libre, contacto agua-petróleo, presión umbral, zona de transición, entre otros, convirtiéndose en parámetro clave para tener un contexto globalizado del yacimiento. Además es útil para determinar

¹² PARIS DE FERRER. Op. cit.

reservas de crudo, convirtiéndose en una herramienta clave para seleccionar el método de recobro adecuado.

EQUIPOS, ELEMENTOS Y ACCESORIOS

- Equipo presión capilar.
- Celda.
- Plato poroso.
- Desecador.
- Balanza analítica.
- Tierra diatomácea.
- Resistometro.

Figura 18. Equipo Presión Capilar



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Preparar agua de formación sintética y saturar el plato.
2. Colocar el plato saturado en la celda.
3. Conectar el plato poroso con el extremo de la celda.

4. Tarar la balanza, luego pesar la muestra saturada.
5. Medir resistividad de la muestra.
6. Construir una capa fina de tierra diatomácea.
7. Colocar una base de papel Kleenex en la superficie de contacto de la muestra con el plato, cubrirla con una capa fina de tierra diatomácea y pasarla a la celda.
8. Cerrar y asegurar la celda.
9. Para muestras de alta permeabilidad, trabajar baja presión y para muestras de baja permeabilidad trabajar alta presión.

BAJA PRESIÓN

- Pasar la válvula 1 a posición ON, regular la presión de alta hasta 20 psi.
- Abrir la válvula LOW PRESSURE (paso del aire al regulador de baja presión) asegurando que la válvula CELL esté cerrada.
- Regular la presión de baja a 1 psi, abrir la válvula 3 para permitir el paso de aire al saturador y luego a la celda.
- Colocar un recipiente graduado con aceite en el extremo de la celda.
- Tomar la lectura del nivel de agua en la probeta 2 veces al día, cuando el nivel de agua sea constante, desmontar las muestras, pesarlas, medir resistividad y repetir el procedimiento con el siguiente punto de presión.

Valores de baja presión: 1, 2, 5, 10 y 15 psi.

NOTA: Si se observa paso de aire, suspender la prueba y saturar nuevamente el plato.

ALTA PRESIÓN

- Pasar la válvula 1 a posición ON, regular la presión de alta hasta 20 psi.
- Abrir la válvula CELL (paso del aire a la celda) asegurando que la válvula LOW PRESSURE esté cerrada.
- Colocar un recipiente graduado con aceite en el extremo de la celda.
- Tomar la lectura del nivel de agua en la probeta 2 veces al día, cuando el nivel de agua sea constante, desmontar las muestras, pesarlas, medir resistividad y repetir el procedimiento con el siguiente punto de presión.

Valores de alta presión: 20, 30, 50, 100 Y 200 psi.

NOTA: Si se observa paso de aire, suspender la prueba y saturar nuevamente el plato.

CÁLCULOS

1. Elaborar las gráficas de presión capilar en función de la saturación de agua para cada muestra de roca.

$$S_w(\%) = \frac{PESO INICIAL - PESO ACTUAL}{PESO INICIAL} * 100$$

2. Llenar el formato de datos (Anexo L) con la información, cálculos y medidas correspondientes.

1.4 MATERIAL AUDIOVISUAL

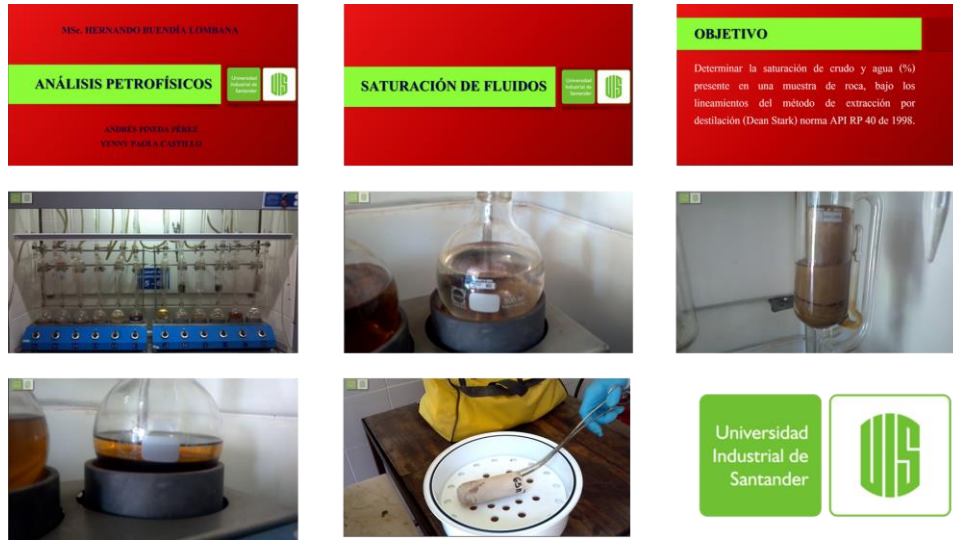
Uno de los factores claves en el desarrollo del presente proyecto es la implementación de ayudas audiovisuales para las prácticas de laboratorio, las cuales dan al estudiante un primer y valioso acercamiento con las actividades próximas a realizar, además pueden aclarar ciertas dudas iniciales sobre los procesos de cada práctica de forma didáctica, pedagógica e innovadora.

Se ha evidenciado que en algunos casos las estrategias de enseñanza se basan en un modelo de transmisión de conocimiento de forma verbal orientado por el docente; sin embargo actualmente el avance tecnológico abre otras expectativas respecto a la forma de transmitir conocimiento, esto posibilita el uso de herramientas con las cuales se contaba pero de las que no se hacía uso eficaz, videos educativos, películas, prensa, y demás productos multimedia que complementan la práctica docente.

La finalidad es ofrecer material audiovisual, con contenidos coherentes y precisos, que sean fácilmente entendibles por el educando y que se conviertan en herramienta libre de consulta, donde tengan la posibilidad de analizar y revisar los temas que allí se contemplan.

Los videos que se desarrollaron tienen un formato establecido para las doce prácticas de laboratorio, cada uno de ellos presenta objetivo, equipos, elementos, accesorios, y la descripción del procedimiento experimental correspondiente a la prueba, según lo establecido por la norma API RP 40 de 1998. Para evidenciar la realización de las ayudas audiovisuales, se hace una breve descripción del recurso, para ello se toma una de las prácticas de laboratorio como ejemplo y se muestran imágenes en secuencia del desarrollo de una de ellas.

Figura 19. Secuencia de video Saturación de fluidos



Se realizaron animaciones en el programa Adobe Flash Player, de la práctica Porosidad Método Boyle y de Permeabilidad Absoluta al Aire, donde se observa el fenómeno ocurrido al interior de los equipos, un paso a paso del manejo de válvulas, presiones y flujos que se manipulan en cada uno de ellos.

Figura 20. Secuencia Animación Permeámetro Método Boyle



2 CONCEPTOS BÁSICOS E INFLUENCIA DE LAS TIC EN LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE

Hoy en día, el mundo se encuentra en crecimiento constante, el hombre cada vez busca innovar en pro de mejorar, de hacer su vida más práctica y productiva; hace unos años eran inimaginables los avances tecnológicos que tenemos actualmente, el vertiginoso desarrollo de la informática ha permitido extender la comunicación más allá de las fronteras, siendo posible acceder a infinidad de información rápidamente y por diferentes medios.

Dado que la sociedad está cambiando a un ritmo acelerado y cada vez busca acciones de mejora, es necesario estar a la vanguardia y crear las herramientas necesarias para ser partícipes del progreso. Las TIC, son clave para la generación de espacios en el proceso de enseñanza - aprendizaje en todos los niveles de educación. La incorporación de este tipo de herramientas en la interacción docente - alumno, no pretenden anular el rol del docente sino convertirse en un apoyo en su labor educativa.

Por lo anterior es conveniente tener claro ciertos aspectos que hacen parte y sirven como base para el desarrollo de los contenidos del libro. Es de resaltar que las TIC tienen un sinnúmero de aplicaciones, que cambian constantemente y cuya demanda es ascendente.

2.1 ENTORNOS VIRTUALES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE (EVEA)

Uno de los aspectos más representativos de la incorporación de las TIC a los procesos formativos en la educación superior lo constituyen sin duda los llamados

Entornos Virtuales de Enseñanza Aprendizaje (EVEA)¹³. Un ambiente de aprendizaje no está condicionado a un aula de clase o la presencia de alumno-docente concordando en tiempo y lugar, que es lo que tradicionalmente se cree cuando se habla de enseñar y aprender, actualmente se cuenta con los entornos virtuales, que generan un espacio propicio de formación. Algunos componentes principales que conforman los EVEA son el espacio, el estudiante, los contenidos educativos y los medios.¹⁴

Los entornos virtuales se convierten en aulas donde el aislamiento geográfico no es impedimento o frontera para acceder a los contenidos que allí se dispongan, la información está disponible y abierta al usuario, el cual debe ser autodidacta para que su proceso de aprendizaje sea fructífero y se aproveche de esta forma un “sistema novedoso e innovador, flexible y abierto, práctico y pertinente, que permite la agilización de procesos con reducción de tiempo y costos.”¹⁵

Asimismo debe existir una articulación entre lo pedagógico, tecnológico y cognitivo, puesto que el uso de las TIC en el proceso de enseñanza aprendizaje se está convirtiendo en factor requisito para las actuales generaciones y por tal razón el papel del docente en este proceso de uso tecnológico es de gran influencia.

¹³ NUÑEZ LEAL, Tomas. Entornos virtuales de enseñanza aprendizaje (EVEA): Formación profesional. Edutec-e. Revista electrónica de tecnología educativa. (Número 37). Universidad Nacional Experimental Politécnica de las Fuerza Armada, 2011. [En Línea]. Barquisimeto, Venezuela. [Consultado el 22 de Junio de 2015]. Disponible en la web en: <http://edutec.rediris.es/Revelec2/Revelec37/pdf/Edutec-e_n37_Nunez.pdf>

¹⁴MÉNDEZ BARCELÓ, Alberto; RIVAS DIÉGUEZ, Aramis y DEL TORO BORREGO, Marlene. Entornos virtuales de enseñanza aprendizaje. Ciudad de Las Tunas (Cuba): Editorial Universitaria, 2007. 71p. ISBN: 978-959-16-0637-2

¹⁵ ARBOLEDA TORO, Nestor. Abc de la Educación virtual y a Distancia. E-learning en la sociedad del conocimiento. Bogotá DC., 2005. Primera edición. ISBN: 95B-95140-6-5.

La iniciativa del docente por ser partícipe de los entornos virtuales de enseñanza aprendizaje, incluyendo materiales didácticos, que sirvan como referencia del conocimiento a transmitir, es la primera etapa para que el uso de aulas virtuales tome fuerza y se establezca en las diferentes instituciones educativas, y de esta manera lograr el objetivo de ampliar el acceso a la educación, incentivar el aprendizaje colaborativo¹⁶. Existen entornos virtuales de enseñanza aprendizaje en el mercado de forma libre que ofrecen una buena base de desarrollo, entre ellos se encuentra la plataforma MOODLE, de interés en el desarrollo de este proyecto, herramienta en la cual se implementó el material desarrollado.

2.1.1 MOODLE

Moodle es un entorno virtual de enseñanza-aprendizaje, es un paquete de software que permite la generación de espacios para instituciones educativas o empresas, útil para diseñar, innovar e implementar contenidos formativos en internet; con esta plataforma es posible crear comunidades de aprendizaje en línea, gestionar usuarios, recursos, actividades de formación, controlar y seguir el proceso formativo, crear foros, videoconferencias¹⁷, entre otras actividades que han resultado exitosas en procesos de formación y que siguen en continuo proceso de mejora.

Utilizar MOODLE tiene grandes beneficios, entre los cuales se encuentran: a). Libertad, este software no se encuentra ligado a ninguna plataforma, dando la autonomía de escoger la que esté acorde con las necesidades del usuario; b). Disminución de costos, porque no se requiere pagar por su licencia, es gratuito, lo

¹⁶MÉNDEZ BARCELÓ. Op.cit.

¹⁷ SOARÍN MARTÍNEZ, Antonio. MOODLE 2.0 Manual del profesor. 2012. [En Línea]. [Consultado el 29 de Mayo de 2015]. Disponible en la web en:<https://docs.moodle.org/all/es/Manuales_de_Moodle>

que permite ahorrar el monto para iniciar un sistema; c) Gestión de conocimiento, es posible recuperar y almacenar conocimiento resultado de las interrelaciones entre alumnos y docentes; d). Arquitectura Modular, las funciones o características están dispuestas en módulos, que pueden ser habilitados o inhabilitados, o añadir uno nuevo según la necesidad.¹⁸

2.2 ETAPA IMPLEMENTACIÓN DEL AULA VIRTUAL

En la sociedad actual la tecnología va de la mano con la educación, está presente en todos los niveles y tiene gran impacto en los métodos de enseñanza. Usar medios adecuados para transmitir conocimiento, fortalece el objetivo de brindar una formación complementaria, donde estudiante y docente se integran en una era cambiante y capaz de afrontar los retos.

Contar con un espacio en el cual tanto el docente como el estudiante encuentren herramientas con las cuales el proceso enseñanza - aprendizaje se torne agradable, didáctico y lo más importante, donde exista información verídica dispuesta en un entorno virtual que esté acorde con las necesidades de la comunidad académica y se convierta en un complemento para el desarrollo de la asignatura Análisis Petrofísicos, son razones suficientes para implementar el material que se desarrolló en este proyecto en un aula virtual.

En esta última etapa se implementaron las herramientas en la plataforma institucional MOODLE, se creó un espacio donde el estudiante encontrará el material que le será de gran ayuda para el desarrollo de la asignatura, dispuesto

¹⁸ GALLEGO CANO, José Carlos. Guía de MOODLE 1.9.14+ Plataforma Adistancia. Gobierno de Cantabria. Consejería de educación, cultura y deporte. Dirección general de formación profesional y educación permanente. 2012. [En Línea]. [Consultado el 3 de Junio de 2015]. Disponible en la web en: <http://www.educantabria.es/docs/publicaciones/Guia_Moodle_1914_Plataforma_Adistancia.pdf>

en una página principal, seccionada en doce módulos, que al desplegarlos es posible acceder a la información de cada práctica de laboratorio.

La plataforma ofrece otras alternativas que permiten la interacción entre el grupo, la existencia de un chat para el fortalecimiento de la comunicación entre docente y estudiantes, en el que es posible debatir, compartir dudas e inquietudes que pueden llegar a surgir en el desarrollo de los módulos. Además existe un panel de novedades donde el docente puede informar a sus estudiantes sobre las actividades próximas a desarrollar (talleres, previos, sustentaciones, entre otras).

A continuación se muestran imágenes que ilustran el diseño, los módulos, la presentación de cada una de las guías de laboratorio, los recursos y alguna de la información que se dispuso en la plataforma MOODLE, y que está disponible para los estudiantes de la asignatura Análisis Petrofísicos.

2.2.1 Ingreso al aula virtual Análisis Petrofísicos

Para ingresar al aula virtual de la asignatura Análisis Petrofísicos, se debe seguir el enlace <http://www.uis.edu.co> que abrirá la página principal de la Universidad Industrial de Santander.

En la parte superior derecha en el recuadro *Recursos*, seleccionar el enlace *Aula Virtual de Aprendizaje*, detallado en el recuadro verde de la figura 21.

Figura 21. Página principal Universidad Industrial de Santander



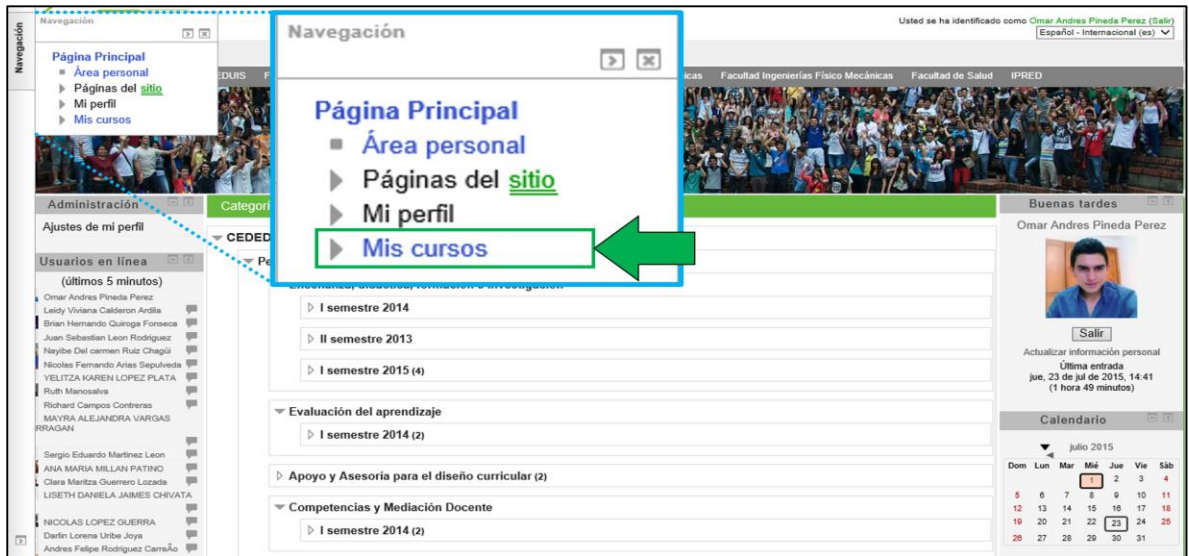
Automáticamente el enlace abrirá el Aula Virtual de Aprendizaje, en el cual el usuario debe digitar usuario y contraseña en el apartado *Entrar*, encerrado en el recuadro azul de la figura 22.

Figura 22. Aula Virtual de Aprendizaje



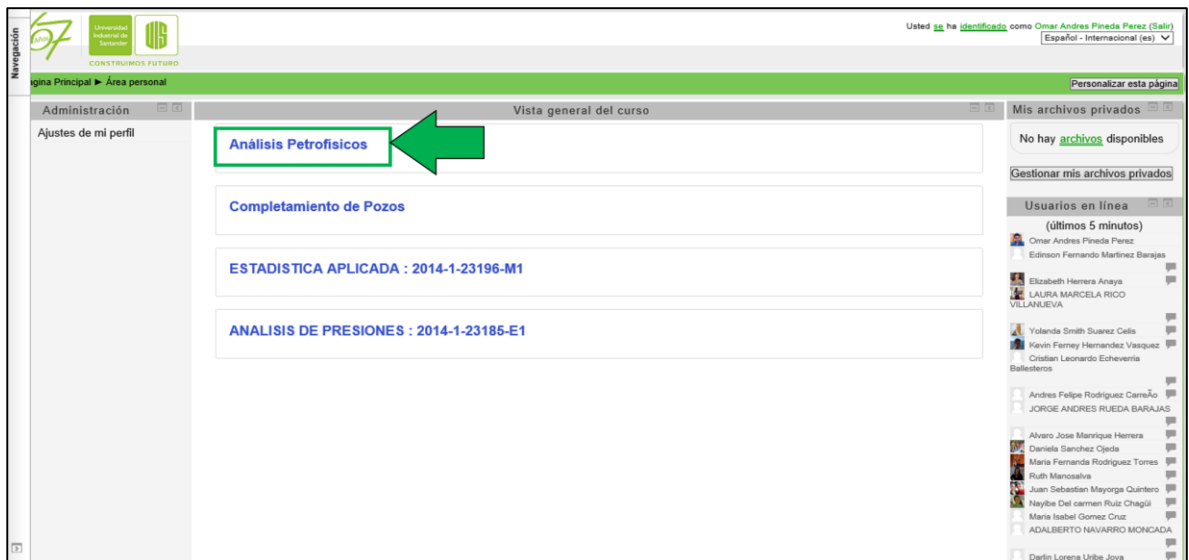
Al ingresar al Aula Virtual de Aprendizaje, dirigirse al enlace *Navegación*, ubicado en la esquina superior izquierda, el cual despliega una serie de opciones dentro de la plataforma, seleccionar *Mis cursos*.

Figura 23. Perfil de usuario en Aula Virtual de Aprendizaje



La plataforma muestra los cursos a los que el estudiante está inscrito, seleccionar *Análisis Petrofísicos*.

Figura 24. Cursos matriculados por el estudiante en el Aula Virtual de Aprendizaje



2.2.2 Aula virtual Análisis Petrofísicos

En la página principal del Aula Virtual de Análisis Petrofísicos, el usuario cuenta con un panel de opciones que permiten la interacción estudiante-docente, entre estas se encuentran *Dudas e inquietudes*, *chat*, *confrontación de ideas* y *novedades*.

Figura 25. Aula Virtual Análisis Petrofísicos

The screenshot displays the user interface of the virtual classroom. At the top, the user is identified as 'Omar Andres Pineda Perez' with a language dropdown set to 'Español - Internacional (es)'. The navigation bar shows the path: 'Página Principal > Mis cursos > Facultad Ingenierías Físico Mecánicas > Entrenamiento > Análisis Petrofísicos'. A left sidebar menu includes sections for 'Personas' (Participantes), 'Actividades' (Chats, Consultas, Foros, Recursos), and 'Administración' (Administración del curso, Activar edición, Editar ajustes, Usuarios, Filtros, Informes, Calificaciones, Insignias, Copia de seguridad, Restaurar, Importar, Reiniciar, Actualizar estudiantes matriculados en el curso, Subir notas a la Base de datos). The main content area features a large banner with the text 'AULA VIRTUAL ANÁLISIS PETROFÍSICOS' and 'BIENVENIDOS' over an image of rock samples. Below the banner are four activity icons: 'CHAT ANÁLISIS PETROFÍSICOS', 'CONFRONTACIÓN DE IDEAS', 'DUDAS E INQUIETUDES', and 'NOVEDADES'. The right sidebar contains 'Últimas noticias' (no updates), 'Buenos días' with a user profile and 'Salir' button, 'Mensajes' (no messages), and a 'Calendario' for August 2015.

En el Aula Virtual de Análisis Petrofísicos se encuentran 12 prácticas de laboratorio, cada una de ellas cuenta con: Video que contiene objetivo, equipos, elementos, accesorios, y el procedimiento experimental de laboratorio; una guía de laboratorio en formato PDF que detalla el principio básico, uso práctico, equipos, elementos, accesorios, procedimiento experimental, cálculos y fórmulas necesarias y un formato de datos que el estudiante debe diligenciar y presentar al término de cada práctica.

Para acceder a la información de cada práctica de laboratorio, se selecciona el título de esta, automáticamente la plataforma despliega una ventana donde se encuentra su información de manera detallada.

Figura 26. Prácticas de laboratorio No. 1 en Aula Virtual Análisis Petrofísicos





En este enlace el usuario encuentra un video, más una carpeta que contiene el formato de datos y la guía de laboratorio (Figura 27). Para las prácticas de laboratorio Porosidad Método Boyle y Permeabilidad Absoluta al Aire, la carpeta cuenta con un adicional, una animación en Adobe Flash Player que describe el principio y el funcionamiento de cada equipo, esta herramienta extra permite conocer el fenómeno ocurrido en los equipos usados en dichas pruebas, de forma clara y gráfica en una interacción agradable y cómoda con el educando.



Figura 27. Información Práctica de laboratorio Descripción Litológica

PRÁCTICA DE LABORATORIO N°1. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA PRÁCTICA DE LABORATORIO N°2. PRESERVACIÓN DE NÚCLEOS ▶

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

▼ DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

-  FORMATO DE DATOS DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA .pdf
-  GUÍA DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA .pdf

3 CONCLUSIONES

El uso de una plataforma virtual para la implementación de las guías teórico-prácticas y los materiales audiovisuales, se convierte en una nueva herramienta para la asignatura Análisis Petrofísicos, aprovechando las nuevas tecnologías y generando un espacio donde interactúen docente y educando, y donde este último, tenga la posibilidad por medio de los recursos que allí se disponen, de comunicar sus aportes, dudas e inquietudes.

Se estructuraron las guías teórico-prácticas de Análisis Petrofísicos en base a las tecnologías a las cuales los estudiantes tienen acceso, describiendo el procedimiento y el manejo correcto de los equipos de laboratorio en cada práctica, además de animaciones en el programa ADOBE FLASH PLAYER que detallan fenómeno, principio y funcionamiento de estos de forma clara y gráfica que permite interacción cómoda y agradable con el estudiante.

La realización de las guías y materiales audiovisuales de las prácticas de laboratorio de Análisis Petrofísicos, están diseñados de tal manera que sea agradable y fácil para el estudiante acceder a esta información, que está disponible desde el inicio del curso para que le sea posible documentarse y estar preparado para la realización de las prácticas.

En la plataforma virtual, el docente tiene la posibilidad de modificar el contenido que allí se disponga si así lo requiere, puede agregar, cancelar o bloquear los módulos de acuerdo al desarrollo de la asignatura, además el acceso a la

plataforma es ilimitado, lo que permite tanto al estudiante como al docente tener toda la información a la mano, bajo conexión a internet.

El conjunto guías de laboratorio, videos y animaciones, realizadas en este proyecto, bajo una clara orientación del educador, abren una nueva ventana al conocimiento, contribuyen a proponer diseños óptimos para pruebas posteriores y permiten al estudiante obtener conocimiento y habilidad en el manejo, control y desarrollo de los equipos y procedimientos de las prácticas a desarrollarse en la asignatura Análisis Petrofísicos.

4 RECOMENDACIONES

Actualizar el aula virtual de la asignatura Análisis Petrofísicos con cambios o modificaciones a los equipos o al desarrollo de las prácticas implementadas que surjan en un futuro, además de nuevas tecnologías, equipos, conceptos y sistemas que fortalezcan aún más la formación del estudiante.

Informar y habilitar semestralmente a los profesores y estudiantes matriculados en la asignatura Análisis Petrofísicos, la plataforma virtual, con el fin de brindar una herramienta complementaria basada en su contenido.

Incentivar el uso de la plataforma virtual basada en las Tecnologías de la Información y Comunicación – TIC, por medio de correo electrónico personal e institucional en los que se invite al estudiante y al docente a utilizar esta herramienta.

Implementar una herramienta virtual para las asignaturas que aún no hacen uso de las TIC, en un ambiente de enseñanza-aprendizaje valiéndose de las herramientas que ofrece la Universidad Industrial de Santander.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Recommended practices for core analysis. Recommended practice 40. Washington. Second Edition, 1998. 236p.

AMYX, James W; BASS, Daniel M y WHITING, Robert L. Petroleum reservoir engineering. Physical Properties. McGraw-Hill Book Company, Inc., 1960. 610p. ISBN: 0-07-001600-3.

ARBOLEDA TORO, Nestor. Abc de la Educación virtual y a Distancia. E-learning en la sociedad del conocimiento. Bogotá DC., 2005. Primera edición. ISBN: 95B-95140-6-5.

BOGGS, Sam. Petrology of sedimentary rocks. Cambridge University Press. 2009. 600p. ISBN: 978-0-511071933-2.

CAICEDO ANDRADE, Juan Carlos. Toma de datos en la libreta de campo, Instituto Colombiano de Geología y Minería. Bogotá. 2003. 36p

CASTAÑEDA QUINTERO, L. & LÓPEZ VICENT, P. (2007) “Entornos Virtuales de Enseñanza Aprendizaje Libres: MOODLE”. En PRENDES ESPINOSA, M. P. Herramientas Telemáticas Para La Enseñanza Universitaria En El Marco Del Espacio Europeo De Educación Superior. Grupo de Investigación de Tecnología Educativa. Universidad de Murcia. CD – ROM. ISBN: 978-84-611-7947-3. [En Línea]. [Consultado el 29 de Mayo de 2015]. Disponible en la web en: <<https://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/13417/1/moodle.pdf>>

CRAIG Jr, Forrest F. Aspectos de ingeniería de la inyección de agua. New York. Fondo conmemorativo Henry L. Doherty. Society of petroleum engineers of AIME. 1982. 132p.

ESCOBAR MACUALO, Freddy Humberto. Fundamentos de ingeniería de yacimientos. Neiva, Huila. Editorial Universidad Surcolombiana, 2008. 331p.

FLORENCIA PEÑARANDA, Victoria. Arenas más allá del acatamiento a las normas. Petrotecnia. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería, 2014. [En Línea]. [Consultado el 18 de Julio de 2015]. Disponible en la web en: <<http://www.petrotecnia.com.ar/junio14/Petro/Arenas.pdf>>

GALLEGO CANO, José Carlos. Guía de MOODLE 1.9.14+ Plataforma Adistancia. Gobierno de Cantabria. Consejería de educación, cultura y deporte. Dirección general de formación profesional y educación permanente. 2012. [En Línea]. [Consultado el 3 de Junio de 2015]. Disponible en la web en: <http://www.educantabria.es/docs/publicaciones/Guia_Moodle_1914_Plataforma_Adistancia.pdf>

MÉNDEZ BARCELÓ, Alberto; RIVAS DIÉGUEZ, Aramis y DEL TORO BORREGO, Marlene. Entornos virtuales de enseñanza aprendizaje. Ciudad de Las Tunas (Cuba): Editorial Universitaria, 2007. 71p. ISBN: 978-959-16-0637-2

MESTRE GÓMEZ, Ulises; FONSECA PÉREZ, Juan José y VALDÉS TAMAYO, Pedro Roberto. Entornos Virtuales de Enseñanza Aprendizaje. Ciudad de Las

Tunas (Cuba): Editorial Universitaria, 2007. 71p. ISBN: 978-959-16-0637-2

NUÑEZ LEAL, Tomas. Entornos virtuales de enseñanza aprendizaje (EVEA): Formación profesional. Edutec-e. Revista electrónica de tecnología educativa. (Número 37). Universidad Nacional Experimental Politécnica de las Fuerza Armada, 2011. [En Línea]. Barquisimeto, Venezuela. [Consultado el 22 de Junio de 2015]. Disponible en la web en: <http://edutec.rediris.es/Revelec2/Revelec37/pdf/Edutec-e_n37_Nunez.pdf>

PARIS DE FERRER. Magdalena. Fundamentos de ingeniería de yacimientos. Maracaibo, Venezuela. Ediciones Astro Data S.A., 2009. 561p. ISBN: 978-980-12-3048-9.

PARIS DE FERRER, Magdalena. Inyección de agua y gas en yacimientos petrolíferos. Maracaibo, Venezuela. Ediciones Astro Data S.A., 2001. 390P. ISBN: 980-296-792-0.

PIRSON, Sylvain J. Ingeniería de yacimientos petrolíferos. Barcelona. Ediciones Omega S.A., 1965. 786p.

RIVERA V, José S. Prácticas de Ingeniería de yacimientos petrolíferos. [En Línea]. [Consultado el 15 de Junio de 2015]. Disponible en el web en: <<http://www.elrinconpetrolero.blogspot.com/2010/02/fundamentos-de-yacimientos.html>>

RODRÍGUEZ, José Ramón. Ingeniería básica de yacimientos. Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui. 2007. 201p

TALENTO HUMANO SUBPROCESO SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL. Versión 01. Protocolo de seguridad química en laboratorios. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2012. P 40. [En línea]. [Consultado el 12 de Agosto de 2015].

TIAB, Djebbar; DONALDSON, Erle C. Petrophysics. Theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties. Gulf professional publishing, 2004. 889p. ISBN 0-7506-7711-2.

Unidades de bolsillo. [En Línea]. [Consultado el 10 de Julio de 2015]. Disponible en la web en: < <https://carolusdixit.wordpress.com/2014/02/19/utilidades-de-bolsillo/>>

ANEXOS

Ver videos y animaciones anexos en la carpeta adjunta en el CD

ANEXO A. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

FECHA: ___ / ___ / ____

NOMBRE

CÓDIGO

CARACTERÍSTICAS	MUESTRA			
COLOR				
PRESENCIA DE CRUDO				
CONSOLIDACIÓN				

GEOMETRÍA Y SELECCIÓN DE GRANOS				
TAMAÑO DE GRANO				
PRESENCIA DE CARBONATOS				
PRESENCIA DE FÓSILES				
NOMBRE TEXTURAL				

MUESTRA 1			
ARMAZON			
	CLASTO	%	TOTAL (%)
GRAVA	CANTOS		
ARENA	GRANOS		
LODO	LIMO		
	ARCILLA		
MATRIZ			
LODO	LIMO		
	ARCILLA		
CEMENTO Y POROS			
CEMENTO			
POROS			
TOTAL ROCA			100

MUESTRA 2			
ARMAZON			
	CLASTO	%	TOTAL (%)
GRAVA	CANTOS		
ARENA	GRANOS		
LODO	LIMO		
	ARCILLA		
MATRIZ			
LODO	LIMO		
	ARCILLA		
CEMENTO Y POROS			
CEMENTO			
POROS			
TOTAL ROCA			100

MUESTRA 3			
ARMAZON			
	CLASTO	%	TOTAL (%)
GRAVA	CANTOS		
ARENA	GRANOS		
LODO	LIMO		
	ARCILLA		
MATRIZ			
LODO	LIMO		
	ARCILLA		
CEMENTO Y POROS			
CEMENTO			
POROS			
TOTAL ROCA			100

MUESTRA 4			
ARMAZON			
	CLASTO	%	TOTAL (%)
GRAVA	CANTOS		
ARENA	GRANOS		
LODO	LIMO		
	ARCILLA		
MATRIZ			
LODO	LIMO		
	ARCILLA		
CEMENTO Y POROS			
CEMENTO			
POROS			
TOTAL ROCA			100

ANEXO B. PRESERVACIÓN DE NÚCLEOS

FECHA: ___ / ___ / ____

NOMBRE	CÓDIGO
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

DATOS	NÚCLEO			
CAMPO				
POZO				

DATOS	NÚCLEO			
LONGITUD (ft)				
DIÁMETRO(in)				
PROFUNDIDAD DEL TOPE (ft)				
VOLUMEN RECUPERADO				
VOLUMEN PERFORADO				
% VOLUMEN RECUPERADO				

OBSERVACIONES:

ANEXO C. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

FECHA: ___ / ___ / ___

NOMBRE

CÓDIGO

TAMIZ ESTÁNDAR N°	TAMAÑO (μm)	PESO INICIAL TAMIZ (g)	PESO FINAL TAMIZ (g)	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO (%)	PESO RETENIDO ACUMULADO (%)
8						
12						
35						
50						
100						
140						
200						
BANDEJA						

OBSERVACIONES

ANEXO D. CORTE DE PLUGS

FECHA: ___ / ___ / ___

NOMBRE

CÓDIGO

_____	_____
_____	_____
_____	_____

DATOS	NÚCLEO			
CAMPO				
POZO				

DATOS	PLUG			
DIÁMETRO D (cm)				
LONGITUD L (cm)				
PESO (g)				
VOLUMEN V_T (cm ³)				

OBSERVACIONES:

ANEXO E. FLUORESCENCIA

FECHA: ___ / ___ / ____

NOMBRE

CÓDIGO

_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

DATOS	MUESTRAS DE CRUDO			
COLOR				
GRAVEDAD API				
TIPO DE CRUDO				

OBSERVACIONES:

ANEXO F. MOJABILIDAD VISUAL

FECHA: ___ / ___ / ____

NOMBRE	CÓDIGO
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

OBSERVACIONES	
MOJADO POR AGUA	
MOJADO POR ACEITE	

OBSERVACIONES



ANEXO G. SATURACIÓN DE FLUIDOS (MÉTODO DEAN STARK)

FECHA: ___ / ___ / ____

NOMBRE	CÓDIGO
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

DATOS	PLUG			
CAMPO				
POZO				

DATOS	PLUG			
°API				
LONGITUD (cm) L				
DIÁMETRO (cm) D				
VOLUMEN TOTAL (cm ³) V_T				
PESO PLUG SATURADO (g) W_i				
DENSIDAD SALMUERA (g/ml) ρ_s				
VOLUMEN SALMUERA EXTRAÍDA (cm ³) V_{SE}				
PESO SALMUERA EXTRAÍDA (g) W_{SE}				
PESO PLUG SECO (g) W_P				
PESO CRUDO EXTRAÍDO (g) W_{OE}				
GRAVEDAD ESPECÍFICA (GE)				
DENSIDAD CRUDO (g/ml) ρ_o				
VOLUMEN DE CRUDO EXTRAÍDO (cm ³) V_{OE}				
VOLUMEN POROSO (cm ³) V_{POROSO}				



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
LABORATORIO ANÁLISIS PETROFÍSICOS**



%v SALMUERA				
%v CRUDO				

OBSERVACIONES: _____

ANEXO H. POROSIDAD MÉTODO BOYLE

FECHA: ___ / ___ / ____

NOMBRE

CÓDIGO

DATOS	PLUG			
CAMPO				
POZO				

DATOS	PLUG			
DIÁMETRO D (cm)				
PROFUNDIDAD (ft)				
LONGITUD L (cm)				
VOLUMEN TOTAL V_T (cm^3)				
PRESIÓN DE VACÍO P_V (psi)				
PRESIÓN ABS. DEL VOLUMEN DE REFERENCIA INICIAL P_i (psi)				
PRESIÓN ABS. EXPANDIDA P_F (psi)				
TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)				



N°	VALOR	DESCRIPCIÓN
V ₁	40.66 cm ³	Volumen celda inicial
V ₂	Calcular	Volumen conexiones externas
V ₃	7.7 cm ³	Volumen conexiones internas

OBSERVACIONES: _____



ANEXO I. POROSIDAD POR SATURACIÓN

FECHA: ___ / ___ / _____

NOMBRE	CÓDIGO
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

DATOS	PLUG			
CAMPO				
POZO				

DATOS	PLUG			
LONGITUD PROMEDIO (cm)				
DIAMETRO PROMEDIO (cm)				
VOLUMEN TOTAL (cm ³)				
DENSIDAD LÍQUIDO SATURANTE ρ_{SL} (g/ml)				
PESO PLUG SECO W_i (g)				
PESO PLUG SATURADO W_s (g)				
VOLUMEN AGUA QUE SATURÓ AL PLUG (V_{WP}) (cm ³)				
POROSIDAD EFECTIVA (\emptyset)				

OBSERVACIONES: _____

ANEXO J. PERMEABILIDAD AL GAS

FECHA: ___ / ___ / ____

NOMBRE	CÓDIGO
_____	_____
_____	_____
_____	_____

DATOS	PLUG			
CAMPO				
POZO				
PROFUNDIDAD (ft)				

DATO	PLUG			
LONGITUD (cm)				
DIAMETRO (cm)				
% APERTURA				
MEDIDOR DE FLUJO (HIGH/LOW)				
TSS				
PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (psi)				
PERMEABILIDAD AL GAS (mD)				

OBSERVACIONES: _____

ANEXO K. PERMEABILIDAD ABSOLUTA AL AIRE

FECHA: ___ / ___ / ____

NOMBRE	CÓDIGO
_____	_____
_____	_____
_____	_____

DATOS	PLUG			
CAMPO				
POZO				

DATOS	PLUG			
DIÁMETRO PROMEDIO (D_P)				
LONGITUD PROMEDIO (L_P)				
ÁREA TRANSVERSAL (A_T)				
TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)				
ALTURA FLUJÓMETRO (A,M,B)				
GRADIENTE DE PRESIÓN (atm)				
VISCOSIDAD (cp)				
TASA DE FLUJO DE GAS (cm^3/s)				
PERMEABILIDAD (Darcys)				

OBSERVACIONES: _____

ANEXO L. PRESIÓN CAPILAR

FECHA: ___ / ___ / ___

NOMBRE	CÓDIGO
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

DATOS	PLUG			
CAMPO				
POZO				
PESO INICIAL (g)				
PROFUNDIDAD				

BAJA PRESIÓN					
PRESIÓN (psi)	DATO	PLUG			
1	PESO (g)				
	RESISTIVIDAD (ohm)				
	NIVEL DE AGUA (ml)				
	SATURACIÓN DE AGUA (%)				
2	PESO (g)				
	RESISTIVIDAD (ohm)				
	NIVEL DE AGUA (ml)				
	SATURACIÓN DE AGUA (%)				
5	PESO (g)				
	RESISTIVIDAD (ohm)				
	NIVEL DE AGUA (ml)				
	SATURACIÓN DE AGUA (%)				
10	PESO (g)				
	RESISTIVIDAD (ohm)				
	NIVEL DE AGUA (ml)				
	SATURACIÓN DE AGUA (%)				
15	PESO (g)				
	RESISTIVIDAD (ohm)				
	NIVEL DE AGUA (ml)				
	SATURACIÓN DE AGUA (%)				

ALTA PRESIÓN					
PRESIÓN (psi)	DATO	PLUG			
20	PESO (g)				
	RESISTIVIDAD (ohm)				
	NIVEL DE AGUA (ml)				
	SATURACIÓN DE AGUA (%)				
30	PESO (g)				
	RESISTIVIDAD (ohm)				
	NIVEL DE AGUA (ml)				
	SATURACIÓN DE AGUA (%)				
50	PESO (g)				
	RESISTIVIDAD (ohm)				
	NIVEL DE AGUA (ml)				
	SATURACIÓN DE AGUA (%)				
100	PESO (g)				
	RESISTIVIDAD (ohm)				
	NIVEL DE AGUA (ml)				
	SATURACIÓN DE AGUA (%)				
200	PESO (g)				
	RESISTIVIDAD (ohm)				
	NIVEL DE AGUA (ml)				
	SATURACIÓN DE AGUA (%)				

OBSERVACIONES: _____
