

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE FORMACIONES EN EL YACIMIENTO LAGUNILLAS INFERIOR 05 A TRAVÉS DE LOS PERFILES DE POZOS

Verónica Palomares

Luisa Túa

Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño”,

Extensión Costa Oriental del Lago, Cabimas

investigacion@psmcabimas.edu.ve

Resumen

El propósito de este artículo es presentar los aspectos más resaltantes del estudio cuyo objetivo fue desarrollar una metodología para la evaluación de formaciones del Yacimiento Lagunillas Inferior 05 a través de los perfiles de pozos. La misma se encuentra sustentada en los postulados teóricos de Pérez (2008), Falla (2005), Casal (2004), Graing Solomon (2001) y CIED (1999). La investigación se estructuró bajo la modalidad de campo y documental, con un tipo de investigación descriptivo. La población se identificó como 444 pozos y como muestra se seleccionó de manera intencional el pozo 01-X perteneciente al Yacimiento Lagunillas Inferior 05. La técnica de recolección de datos estuvo representada por la revisión bibliográfica, la observación directa, mesas de trabajo y entrevistas no estructuradas. El análisis de datos se hizo a través de análisis cualitativos tomados de los perfiles y cuantitativos a través de softwares bajo ambiente Windows. Los resultados permitieron: a) identificar los parámetros petrofísicos obtenidos con los perfiles de pozos como por ejemplo la Resistividad de la formación (R_t), Resistividad del agua de formación (R_w), Temperatura de la formación (T_f), Porosidad (\emptyset), Saturación de agua (S_w), Volumen de arcilla (V_{sh}) y Permeabilidad (k); b) describir los métodos para obtener las propiedades de formaciones limpias y arcillosas, c) establecer la metodología para dos zonas de interés en el pozo 01-X; por último, elaborar la metodología que mejorará la estimación petrofísica a través de los perfiles.

Palabras clave: evaluación, formaciones, perfiles de pozos, yacimientos.

METHODOLOGY FOR EVALUATING FORMATIONS AT THE RESERVOIR LAGUNILLAS INFERIOR 05 ACROSS PROFILES OF WELLS

Abstract

The purpose of this article is to present the most important aspects of the study whose objective was to develop a methodology for formation evaluation Reservoir Lagunillas Inferior 05 across profiles wells. The same is supported by the theoretical postulates of Perez (2008), Falla (2005), Casal (2004), Graing Solomon (2001) and CRED (1999). The research was structured in the form of documentary and field with a descriptive type of research. The population identified as well as 444 sample was selected intentionally 01-X well belonging to the Lagunillas Inferior 05 Field. The technique of data collection was represented by the literature review, direct observation, workshops and interviews not structured. Data analysis was done through qualitative analysis of the profiles taken through quantitative and software under Windows environment. The results allowed: a) identify the petrophysical parameters obtained with well logs such as formation resistivity (R_t), formation water resistivity (R_w), formation temperature (TI), porosity (\emptyset) water saturation (S_w), clay Volume (V_{sh}) and permeability (k); b) describe the methods to obtain properties of clay formations clean and, c) establishing the methodology for two zones of interest in the well 01-X; Lastly, develop the methodology that will improve the estimate petrophysical through profiles.

Key words: evaluation, training, well logs, reservoir.

Introducción

A nivel mundial, la evaluación precisa y oportuna de formaciones constituye un elemento esencial del negocio de exploración y producción de crudos, ya que en el pasado los operadores debían establecer soluciones intermedias debido a los pocos instrumentos utilizados para evaluar la vecindad del pozo; por ejemplo, los registros que fueron diseñados para obtener resultados en tiempo real. Este procedimiento ha tenido cambios importantes, a tal punto que se puede obtener un registro de imagen de la formación, significando esto que la evaluación de formaciones evolucionó haciendo más global el uso de las técnicas aplicadas en herramientas operadas con cable (perfiles) dentro de los pozos.

De esta manera, la evaluación de formaciones es una actividad clave en la determinación de reservas y en la estimación del potencial de producción de un yacimiento, razón por la cual la industria de los hidrocarburos realiza diversos análisis a muestras de rocas extraídas del mismo, con el fin de estimar de forma precisa los volúmenes de petróleo a recuperar. Uno de estos métodos es la estimación cualitativa haciendo uso de los perfiles de pozos, estos constituyen una de las fuentes de información más importantes con que cuentan los geólogos, geofísicos, ingenieros en petróleo, entre otros, al momento de evaluar y caracterizar un reservorio.

En relación a lo anteriormente expuesto, este grupo multidisciplinario es el responsable de obtener parámetros petrofísicos como volumen de arcilla (en reservorios clásticos), litología compleja (en reservorios carbonáticos), porosidad y saturación de fluidos, que son cruciales para la evaluación del pozo en un primer momento y para el análisis y caracterización de un yacimiento en etapas posteriores.

Cabe destacar que las técnicas y métodos de caracterización de yacimientos y sus pozos, mencionados, se centran en el cálculo del Petróleo Original en Sitio (POES), el cual está contenido en los espacios porales de las rocas de un yacimiento que, en teoría, dentro de las ecuaciones empíricas se definen como una unidad de volumen de la

formación, producto de su porosidad multiplicada por la saturación de hidrocarburos. Por lo tanto, en el desarrollo de los reservorios se deben efectuar evaluaciones confiables, como: determinar la existencia de los poros interconectados, si el petróleo fluye con facilidad a través del sistema poral, y la saturación de petróleo, ya que a través de estos indicadores se podrán establecer nuevas estrategias de desarrollo, entre ellas la recuperación secundaria y mejorada.

Dentro de este contexto, los yacimientos en el occidente de Venezuela poseen gran cantidad de información y parámetros petrofísicos obtenidos a partir de los perfiles de pozos corridos en los mismos, algunos de estos tomados hace algún tiempo con herramientas en desuso actualmente y en vista de que el reservorio ha presentado una producción considerable se planteó la necesidad de realizar un monitoreo, con la finalidad de actualizar los parámetros.

En este mismo sentido, la estatal Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima (PDVSA), entre una de sus metas tiene el llevar a cabo la actualización de información petrofísica, estableciendo alianzas estratégicas con diversas empresas mixtas dedicadas a la corrida de registros. Aunque el proceso de perfilaje es costoso, son importantes para caracterizaciones de yacimientos y proyectos en fase 1 o fase 2, permitiendo plantear la necesidad de recolectar, integrar y aplicar los datos obtenidos durante las operaciones de perfilaje e interpretar sus resultados a fin de crear una base de datos, de manera que el ingeniero obtenga de forma clara y precisa los parámetros petrofísicos requeridos al momento de realizar una evaluación de la formación.

Para el momento de la realización de la investigación expuesta en el presente artículo, en el yacimiento Lagunillas Inferior 05 se desarrollaba un programa de caracterización de las rocas/fluidos, donde el eje central del mismo era la estimación de las propiedades petrofísicas, la cual ha generado la recopilación de información mediante la interpretación de los registros existentes, normalización de las curvas de los perfiles en físico y actualización de parámetros para extrapolar la indagación a

los softwares de la empresa. Sin embargo, no existe una metodología integrada que oriente a los ingenieros en esta disciplina, quienes deben hacer nuevamente el trabajo, lo que ocasiona la pérdida considerable de tiempo, y el incremento en los costos por concepto de adiestramiento del personal responsable de la ejecución de las estimaciones.

Por tanto, a través de la investigación adelantada se buscó desarrollar una metodología que permitiera obtener de manera confiable y efectiva los parámetros petrofísicos del yacimiento, utilizando los resultados emitidos por los perfiles de pozos.

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Desarrollar una metodología para la evaluación de la formación del Yacimiento Lagunillas Inferior 05.

Objetivos específicos

1. Identificar los parámetros para la evaluación de la formación del yacimiento Lagunillas Inferior 05.
2. Describir los métodos de evaluación de formaciones limpias y arcillosas en la interpretación de los pozos petroleros pertenecientes al yacimiento Lagunillas Inferior 05.
3. Establecer los métodos para la evaluación de la formación del yacimiento Lagunillas Inferior 05 a través de los perfiles de pozos.
4. Elaborar una metodología para la evaluación de la formación del yacimiento Lagunillas Inferior 05 a través de los perfiles de pozos.

Referentes Teóricos

Propiedades Eléctricas de las Rocas

Saturación de Fluidos

Casal (2004) refiere que la fracción del espacio poroso ocupado por el agua se denomina “saturación de agua” o S_w , la fracción restante, contentiva de petróleo o gas, se denomina “saturación de hidrocarburo” o S_h ; como uno es el complemento del otro, entonces $S_h = (1 - S_w)$. El supuesto general es que el yacimiento estuvo inicialmente repleto de agua y que a lo largo del tiempo geológico el petróleo o el gas formados en otro lugar migraron hacia la formación porosa, desplazando el agua de los espacios porosos de mayor tamaño. Sin embargo, los hidrocarburos que migran nunca desplazan toda el agua intersticial.

En efecto, hay una saturación de agua irreducible o “ S_{wi} ”, representada por el agua retenida por la tensión superficial sobre la superficie de los granos, en el contacto entre los granos y en los intersticios más pequeños. Su valor varía entre 0.05 (5 por ciento) en las formaciones de granos muy gruesos, hasta 0.4 (40 por ciento) o más en las formaciones de granos muy finos con alta superficie específica. El agua irreducible no fluirá cuando la formación se somete al proceso de producción.

Cuando el petróleo y el gas (que no son conductores de la electricidad) están presentes en una roca porosa, conjuntamente con una cierta cantidad de agua salina de formación, su resistividad “ R_t ” es mayor que “ R_o ” (la resistividad de esa misma formación, si estuviera saturada 100 por ciento de agua), debido a que hay un volumen menor de agua disponible para el paso de la corriente eléctrica.

La resistividad de una roca parcialmente saturada de agua (R), depende no sólo del valor de “ S_w ”, sino también de su distribución en el interior del espacio poroso. La distribución de las dos fases (agua e hidrocarburo) dentro de la roca, depende de la humectabilidad de la misma, de la dirección

en que fue establecida (drenaje o imbibición) y del tipo de porosidad (ya sea primaria, secundaria, o ambas).

De acuerdo con Graing Solomon (2001), para estimar la cantidad de hidrocarburos presentes en un yacimiento es necesario determinar la fracción del volumen poroso ocupado por cada uno de los fluidos presentes. Dicha fracción de volumen de poros, ocupado por agua, petróleo o gas es precisamente lo que se denomina saturación del fluido. Matemáticamente dichas saturaciones serán:

$$S_o = \frac{\text{Volumen de Petróleo}}{\text{Volumen Poroso}} * 100$$

$$S_w = \frac{\text{Volumen de Agua}}{\text{Volumen Poroso}} * 100$$

$$S_g = \frac{\text{Volumen de Gas}}{\text{Volumen Poroso}} * 100$$

Y la sumatoria $S_o + S_w + S_g = 1$

La determinación de la saturación de los fluidos presentes en los diferentes estratos de un yacimiento puede realizarse, al igual que la Porosidad y la Permeabilidad, de dos formas diferentes:

1. Mediante registros de pozos, los cuales miden propiedades eléctricas y radioactivas (registros eléctricos, neutrón FDC, entre otros) que permiten identificar los fluidos contenidos en el yacimiento.

2. En el laboratorio, haciendo uso de los métodos de la Retorta y de Extracción por solventes.

Resistividad de la Formación

Pérez (2008), plantea que la resistividad que ofrece un material al flujo eléctrico es directamente proporcional a la longitud del material e inversamente proporcional a su área, como se expresa a continuación.

$$r_{(resistencia)} = R(resistividad) \frac{Longitud}{Area}$$

Despejando la resistividad se tiene:

$$R = \frac{r * A}{L} = \frac{Ohm * m^2}{m}$$

La resistividad de las formaciones es indicativa de su litología y de su contenido de fluidos. Las formaciones geológicas conducen la corriente eléctrica sólo mediante el agua que contienen. La mayoría de los minerales que constituyen las partes sólidas de los estratos, cuando están absolutamente secos son aislantes.

Resistividad del Agua de Formación

La resistividad del agua de formación, de acuerdo con Pérez (2008), es uno de los parámetros más importantes en el análisis de registros a hoyo abierto puesto que el valor de R_w es requerido para calcular la saturación de fluidos en el espacio poroso de la roca reservorio.

El espacio poroso de los sedimentos marinos inicialmente está lleno por agua de mar, pero la composición química del agua de mar no permanece constante con cambio de profundidad, ni en grandes áreas geográficas, ni a través de largos periodos de tiempo. Sin embargo, en muchas partes el agua de mar probablemente no sufre cambios significativos con el paso del tiempo geológico.

Variaciones considerables en la salinidad del agua pueden ocurrir dentro de una cuenca. Ocasionalmente, la salinidad es totalmente diferente en la misma roca reservorio o en ambos lados de la falla sellante. Las variaciones de salinidad pueden ocurrir en cortas distancias, tanto verticales como horizontales. La filtración a través de las arcillas es aparentemente uno de los mecanismos primarios causantes de cambios inusuales de la salinidad.

Las resistividades del agua pueden oscilar de 0,01 ohm-m a varios ohm-m a la temperatura del reservorio. La resistividad del agua de formación (R_w) es frecuentemente más fácil de determinar, pero ocasionalmente se hace difícil encontrar un valor exacto para este importante parámetro petrofísico.

Registro de Pozo

Un registro de pozo es el proceso a través del cual se miden las propiedades eléctricas, acústicas y radioactivas, con el fin de evaluar la prospectividad de un yacimiento petrolífero.

Utilidad de los Registros de Pozos

- Elaboración de mapas del subsuelo (estructurales, isopacos, entre otros).
- Identificación de litología (areniscas, lutitas, calizas, entre otros).
- Profundidad y espesor de las zonas productoras.
- Determinación de la porosidad, permeabilidad y saturación.
- Calculo de reservas.

Clasificación de los Perfiles

Los perfiles se clasifican en: eléctricos, radioactivos, densidad y neutrónicos.

Los dispositivos de perfilaje que bajan al pozo son diseñados para medir las propiedades eléctricas, acústicas y radioactivas de la formación y presentar las respuestas en forma continua, como un registro a lo largo de todo el pozo. Una gran cantidad de dispositivos basados en estos principios de medición han sido diseñados y utilizados en la industria petrolera desde el año 1927. Es por ello que se realiza una subclasificación que se profundizará a continuación:

Registros Comúnmente Vectorizados

Registros a Hoyo Abierto o Perfil Eléctrico Convencional

Según el manual del Centro Internacional de Educación y Desarrollo -CIED- (1999), este perfil en su presentación más común está compuesto de cuatro curvas: lateral, normal larga, normal corta y del potencial espontáneo.

El perfil eléctrico convencional está fuera de uso desde los años sesenta, la curva lateral y las normales tienen muchas limitaciones, requieren de diversos procesos de corrección para determinar la resistividad verdadera de la formación (R) y la resistividad de la zona lavada (R_l).

Perfil de Inducción

Este perfil se basa en campos electromagnéticos y en corrientes inducidas; utiliza bobinas en vez de electrodos. Su fundamento de medición es totalmente diferente al de sus antecesores, debido a eso el perfil de inducción puede ser corrido en lodos no- conductivos como lodos base de petróleo, de emulsión invertida o aire, donde resulta imposible para los demás dispositivos de resistividad.

Existen dos versiones de este dispositivo, el tradicional Inducción Sencillo (IEL) y el Doble Inducción (DIL). Recientemente han introducido mejoras para sacar el perfil de Inducción Phasor o Inducción de Alta Resolución.

Características del Yacimiento Lagunillas Inferior 05

El campo Lagunillas está ubicado en la parte central de la unidad de Explotación Tierra Este Pesado y al este del Lago de Maracaibo, con un área total de 163 Km² (40278 acres/16300 hectáreas). Fue descubierto en el año 1925, pero es a inicio del año 1930 cuando comienza su explotación comercial con el pozo LS-001 ubicado al oeste del campo, en el bloque

U-3. El campo Lagunillas colinda al oeste con la unidad Explotación Lagunillas Lago (UE LL), al sur con el Campo Tía Juana Tierra y al sur con Bachaquero Tierra (UE TEP), como lo muestra la Figura 1. El Campo produce petróleo principalmente de los Yacimientos Lagunillas Inferior y Laguna. Este trabajo está enfocado específicamente a definir el Miembro Bachaquero, el cual forma el intervalo más importante del Yacimiento Laguna. El POES asociado es de 16103 MMBN de petróleo y ha producido aproximadamente 2248 MMBLS de petróleo desde 1925 hasta diciembre del 2001. Las reservas remanentes se ubican en 993.1 MMBLS, con una tasa de producción actual de 99.7

MBBL/D tiene un total de 2688 pozos (1577 activos, 896 inactivos y 215 abandonados). El Campo Lagunillas está dividido en 19 Proyectos operacionales, de los cuales 15 son Proyectos térmicos.

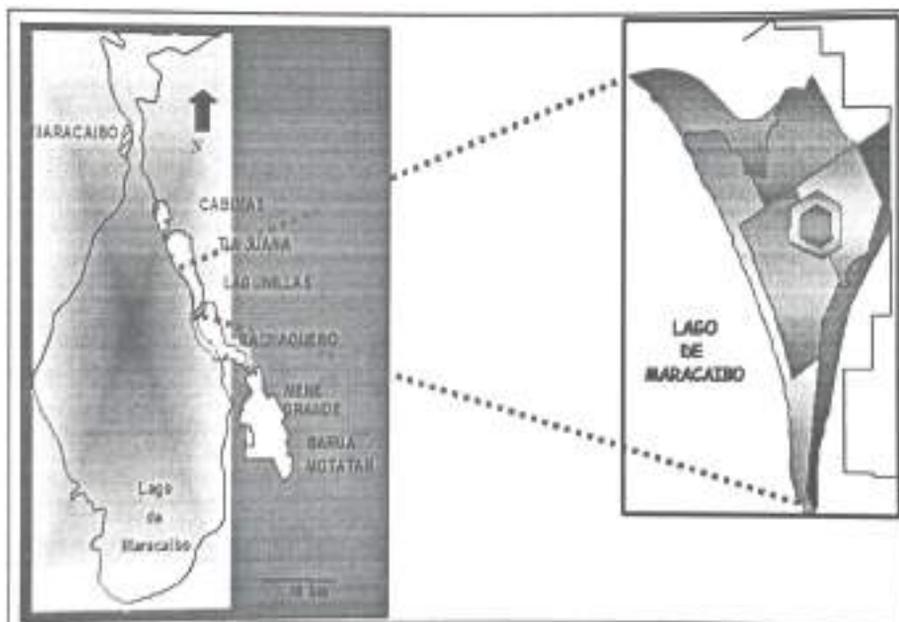


Figura 1. Ubicación del Campo Lagunillas

Metodología

El modelo de la investigación representa la estructura metodológica de los pasos que se plantearon como opción para la elaboración del diseño que conllevó a solución del problema, por lo cual esta investigación se consideró un diseño de campo y documental. Según Tamayo y Tamayo (2006) la modalidad de campo es aquella:

Cuando los datos se recogen directamente de la realidad, por lo cual se denominan primarios, su valor radica en que permiten cerciorarse de las verdaderas condiciones en las que se han obtenido los datos, lo cual facilita su revisión o modificación en caso de surgir dudas. (p.110).

El mismo autor explica que el diseño bibliográfico (documental) de una investigación “ocurre cuando recurrimos a la utilización de los datos secundarios, es decir, aquellos que han sido obtenidos por otros y nos llegan elaborados y procesados de acuerdo con los fines de quienes inicialmente los elaboran y manejan” (p.109).

De lo señalado anteriormente, se establece que en la investigación se utilizó el diseño de campo, porque las mediciones de las propiedades se realizaron a través de los perfiles tomados dentro del yacimiento Lagunillas Inferior 05, y el diseño documental, pues se contó con información contenida en manuales, revistas y guías de entrenamiento.

La investigación también se considera descriptiva, porque se describieron cada uno de los registros de pozos que se generan en la industria petrolera, así como las propiedades petrofísicas que son de gran importancia para la cuantificación de reservas; aspecto que responde a lo planteado por Arias (2006) sobre el tipo de investigación en cuanto a que esta consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura y comportamiento” (p.24).

La población objeto de estudio estuvo representada por 444 pozos

pertenecientes al yacimiento Lagunillas Inferior 05, de los cuales 229 son pozos activos (categoría 1), 77 pozos inactivos para producción inmediata (categoría 2) y 138 son pozos inactivos no disponibles para producción inmediata (categoría 3). Por su parte la muestra en esta investigación se consideró de tipo intencional ya que los elementos fueron escogidos con base en criterios o juicios preestablecidos por el investigador, tal como lo plantea Arias (2006, p.85), los cuales permitieron la evaluación de la formación del yacimiento al que se hace referencia en la presente investigación, seleccionándose un (1) pozo clasificado como categoría 1, el cual está en producción actualmente; este constituye la muestra.

Es importante acotar que la información fue suministrada por PDVSA, y debido a esto se informó que se requería cambiar la nomenclatura del pozo a objeto de resguardar los datos de la empresa, por lo que se denominó pozo 01-X. Éste fue seleccionado por ser el único pozo que contaba con los *registros SP, GR y Densidad*, aspectos necesarios para el desarrollo de la metodología.

Para la recolección de información se emplearon técnicas diversas como: observación directa, mesas de trabajo y entrevista no estructurada. La observación directa se aplicó en las evaluaciones cualitativas que se obtuvieron de los perfiles para luego insertar dichos valores en las ecuaciones empíricas, donde se estimaron las propiedades del yacimiento.

La utilización de la técnica de mesas de trabajo permitió la combinación de información; además, fue la base para la elaboración de la metodología y los pasos de cómo obtener los datos. Se puede decir que las mesas de trabajo fueron fundamentales para el logro de los objetivos orientadores de la investigación, ya que a través de ellas se logró debatir con los expertos sobre los puntos clave de la misma y así generar las conclusiones pertinentes.

Por otra parte, la entrevista no estructurada fue aplicada, en este caso específico, a personal capacitado de la empresa PDVSA que monitorean las propiedades del yacimiento Lagunillas Inferior 05, así como a

especialistas en el tema desarrollado.

Para el análisis de los datos se optó por el procesamiento electrónico a través de aplicaciones funcionales como Microsoft Excel, que permitieron la realización de operaciones numéricas, mantenimiento de registros, inclusión de gráficos, textos y animaciones, entre otras funciones.

Por su parte, Microsoft Word y Microsoft Power Point posibilitaron el diseño de gráficas y el cálculo de los datos de ecuaciones empíricas como es el caso de la porosidad, permeabilidad y saturación. Además, se realizó una evaluación cualitativa de la formación a través de la pericia realizada por los ingenieros (que tiene mucha relación con la entrevista no estructurada), la cual permitió obtener datos de la formación del yacimiento Lagunillas Inferior 05.

En referencia a la sistematización de la información, a través de fases para definir una secuencia al momento de generar los resultados de la investigación, se identificaron las siguientes: Fase 1. Recolección bibliográfica, Fase II. Recolección experimental y, por último, documentación y desarrollo de la metodología.

Resultados

Parámetros para la Evaluación de Formaciones en el Yacimiento Lagunillas Inferior 05

Una amplia variedad de actividades relativas a las etapas de exploración, localización, evaluación y desarrollo de los yacimientos petroleros, dependen fuertemente de que se tenga un buen conocimiento de la magnitud y variación espacial de las propiedades de las rocas donde se encuentran emplazados dichos reservorios, conocimiento que se obtiene mediante un proceso llamado evaluación de formaciones.

Dicha evaluación, tal y como lo plantea Escobar (2002), permite establecer el modelo del reservorio, para lo cual se debe analizar el

comportamiento de cada uno de los registros o perfiles de pozo, que gráficamente son registros dispuestos sobre diversos tracks donde se busca plasmar a través de las características inherentes a la roca y los fluidos contenidos en éstas, la ubicación de los posibles yacimientos de hidrocarburos comercialmente explotables.

Es importante mencionar que en el encabezado de los registros de pozos se encuentran datos básicos acerca de las condiciones iniciales en las cuales fue procesado el análisis de la información del pozo, como por ejemplo: la profundidad total, la resistividad del filtrado de lodo de perforación, la temperatura y la presión de fondo, la densidad, la viscosidad del lodo.

En consecuencia, para el logro del primer objetivo se realizó un análisis exhaustivo de los registros de pozos, lo que posibilitó la identificación de los parámetros más resaltantes para la evaluación de la formación en el yacimiento Lagunillas Inferior 05, por lo que se necesitó de la pericia de los técnicos en perfilaje a fin de establecer los parámetros petrofísicos del yacimiento como: resistividad de la formación (R), resistividad del agua de formación (R_w), factor de resistividad de la formación (F), temperatura de la formación (T_f), saturación de agua (S_w), porosidad (O), permeabilidad (K), volumen de arcilla (V_{sh}).

Métodos de Evaluación de Formaciones Limpias y Arcillosas en la Interpretación de los Registros de Pozos Pertenecientes al Yacimiento Lagunillas Inferior 05

Los métodos de evaluación de las formaciones que potencialmente constituyen yacimientos de hidrocarburos, se desarrollan sobre la base de datos sísmicos y geológicos. Aunque los avances actuales que se tienen en la adquisición y procesamiento de datos sísmicos hacen posible obtener información más detallada acerca del subsuelo, la perforación de un pozo exploratorio continúa siendo la única manera de confirmar la presencia de petróleo y de gas. Por tanto, una vez que se perfora un pozo exploratorio,

el profesional en petrofísica puede cuantificar e integrar las propiedades de la formación a partir de una variedad de fuentes de información, facilitadas por la disponibilidad del pozo. Dicha variedad, constituye la base fundamental de los métodos para la evaluación de la formación, los cuales serán descritos a continuación.

Registros de Operaciones de Perforación (Mudlogging)

A través de la evolución de la industria petrolera se han incorporado equipos sofisticados, desarrollados para controlar todos los aspectos del proceso de perforación, donde se anexó el registro del lodo de perforación. Un registro de lodo es una representación gráfica de los parámetros de perforación generados durante la perforación de un pozo de petróleo. El acto de recopilar toda esta información se considera realmente muy importante y es realizada por el registrador de lodo.

De acuerdo con Falla (2005), uno de los primeros tipos de registros elaborados fue el lodo, el cual fue desarrollado para dar una referencia visual de la litología de las formaciones penetradas. Además, con esta información se puede obtener una idea de qué esperar, al momento de perforar otro pozo en zonas vecinas. Asimismo la ROP (tasa de penetración), también conocida como índice de penetración o la tasa de perforación, se ha añadido para mostrar la velocidad a las cuales se están penetrando las formaciones, Cabe decir que, debido a la velocidad de la mecha se puede detectar la presencia de una formación consolidada o poco consolidada.

Posteriormente se descubrió que el gas de hidrocarburos podría extraerse del sistema del lodo, pues al salir del hoyo se representa en el registro de lodo para dar una referencia visual de las formaciones que contenía el gas.

Análisis de Núcleos

Otro método utilizado para la evaluación de las formaciones lo constituyen los núcleos, a los cuales pueden realizársele diversos análisis para la identificación de parámetros petrofísicos necesarios para la caracterización de la misma, se desglosan los diferentes análisis característicos.

La recuperación y el análisis de núcleos es parte importante en la evaluación de formaciones, por lo que el término de petrofísica tiene un significado mucho más amplio respecto al concepto análisis de núcleos, el cual debe limitarse en su empleo para referirse exclusivamente a las mediciones y estudios de laboratorio efectuados en muestras de roca, como pueden ser muestras tapón y de diámetro completo que se extraen de los núcleos de perforación.

Los datos aportados por los núcleos recuperados desde un intervalo de una formación de un pozo petrolífero, juegan un papel importante en programas de exploración, completaciones de pozos y evaluación de formaciones; además, aportan resultados sobre la capacidad de almacenamiento de fluidos (porosidad), flujo de fluidos a través del medio poroso (permeabilidad); contenido residual de petróleo, el cual permite interpretar la producción probable de petróleo, gas y agua.

De allí que el estudio de los datos generados por el análisis de núcleos, acompañados de pruebas complementarias desarrolladas en las muestras de estos, proporciona una buena respuesta al tratamiento de los futuros pozos, provee una base sólida para estimación de reservas y modelaje del yacimiento, hace más fácil la interpretación de los registros mediante el sistema de correlación, y suministra orientación en programas de recuperación secundaria y terciaria. Igualmente los análisis especiales de núcleos permiten verificar los parámetros a , n , m y $Swir$; y del análisis convencional se obtiene la porosidad y permeabilidad absoluta con los que se realiza la correlación Núcleo-perfil.

Análisis Convencionales

Dentro de los análisis convencionales que se pueden realizar a los núcleos o muestras de rocas, se encuentran básicamente la porosidad (\emptyset) y la permeabilidad (K). Dichos análisis son efectuados en un laboratorio en condiciones atmosféricas normales, y los resultados se obtienen sometiendo las muestras a equipos tecnológicos especializados para dichas evaluaciones.

En el Cuadro 1 se plasman los tipos de ensayos que se pueden aplicar a las muestras, los métodos utilizados durante los ensayos para el cálculo de los respectivos parámetros.

Cuadro 1
Análisis Convencionales de Núcleos

Tipos de ensayos	Métodos	Parámetros	Unidades
Saturación de fluidos	-Destilación Soxhlet -Dean-Stark -Centrifuga -Retorta	Sw, Sh, Sg, \emptyset_t	%
Porosidad	-Volumétrico -Porosímetro	\emptyset_t , \emptyset_e , pg	%
Permeabilidad	-Pignómetro	Kh, Kv	md
Densidad del grano	-Volumen	Pma, \emptyset_t	gr/cc

Análisis Especiales

Entre los análisis especiales que se le pueden realizar a los núcleos o muestras de rocas se encuentran básicamente los análisis de ingeniería de yacimientos, tales como: pruebas de presión capilar, permeabilidad relativa, comprensibilidad del volumen poroso y humectabilidad, análisis de completación (pruebas de daños de formación utilizando lodos y

aditivos). Adicionalmente se tienen los análisis de Difracción de Rayos X, Análisis SEM Barrido de microscopia electrónica.

Registros de Pozos

Constituyen la base fundamental de esta investigación, la cual permitiría la determinación y verificación de los parámetros petrofísicos del yacimiento Lagunillas Inferior 05. Entre los perfiles más comunes que generalmente poseen los pozos se encuentran: Registros de Densidad, Registros de *Rayos Gamma (Gamma Ray)*, *Registros Eléctricos* o de Inducción (*IEL*), *Registro de Inducción Doble*, Registro de Presión y Temperatura (*P* y *T*), Registro de Producción (*PLT*), Registro de Saturación (*RST*), Registros de Cementación (*CBL*, *VDL*, *GR*).

En la investigación adelantada solamente se utilizaron los registros: de *Rayos Gamma (Gamma Ray)*, *Eléctricos o de Inducción (IEL)* y de densidad.

Métodos para la Evaluación de la Formación en el Yacimiento Lagunillas Inferior 05 a través de los Perfiles de Pozos

Para lograr el objetivo respectivo se tomó en consideración el método de perfiles de pozo, ya que cuando se perfora un pozo de tipo exploratorio se trata de obtener la mayor cantidad de información posible del subsuelo. La cual se logra con la ayuda de los perfiles, pues estos miden las propiedades eléctricas, acústicas y radioactivas de las rocas.

A través de la interpretación de dichos perfiles se logra la evaluación de la formación, pudiéndose determinar los parámetros más importantes del yacimiento Lagunillas Inferior 05, los cuales se explican a continuación.

Resistividad del Agua de Formación

La resistividad del agua de formación es un parámetro que puede obtenerse de cuatro formas: a través de análisis físico-químicos de

muestras representativas del agua de formación; mediante técnicas gráficas como, por ejemplo, las gráficas de Hingle y Picket, las cuales son utilizadas también para la estimación petrofísica; por Mapas de Isosalinidad y Catálogos de Resistividad de Aguas de Formación; y, por registros del Potencial Espontáneo - SP, Resistividad (Rt) y Porosidad, siendo este último el seleccionado para el desarrollo de la metodología propuesta.

El uso de métodos cualitativos como los mencionados resulta importante, pues la mayoría de los yacimientos, y en el caso específico del Lagunillas Inferior 05, cuentan con una producción de 50 años; por tanto, se tienen registros SP, resistividad (Rt) y porosidad.

Para la evaluación de R_w es necesario establecer, en primer lugar, una evaluación cualitativa del perfil; en el caso de *SP*, *GR* o *Caliper* se realiza el mismo procedimiento para evaluar el intervalo litológico. Para ello se identifica el mismo con algunas características particulares como: el tope y la base del intervalo prospectivo, el gradiente geotérmico, algunas profundidades y temperaturas específicas.

Resistividad de la Formación

La resistividad de las formaciones es indicativa de su litología y de su contenido de fluidos. Las formaciones geológicas conducen la corriente eléctrica sólo mediante el agua que contienen. La mayoría de los minerales que constituyen las partes sólidas de los estratos, cuando están absolutamente secos son aislantes. Para ello se trabaja con el valor de la resistividad de la formación estándar ampliamente conocido, multiplicado por la temperatura dada sobre la temperatura dato, sumado al valor 6,77 constante utilizado para nivelar los valores.

Porosidad (\emptyset)

Existen perfiles que dan la lectura de la porosidad, pero en Petrofísica

el ingeniero tiene que ubicar perfiles que fueron corridos en el yacimiento. En este caso, la porosidad del yacimiento Lagunillas Inferior 05 será medida a través de un perfil de densidad. Para ello se ha de estimar la densidad de la matriz, la densidad del fluido y una densidad leída del perfil.

Saturación de Agua (S_w)

Para la estimación de la saturación de agua es necesario conocer la R_w que previamente debió ser calculada por el método de SP o cualquier otro método establecido.

Permeabilidad (K)

La estimación de la permeabilidad se obtiene del valor de la saturación de agua S_w , posteriormente se utilizan dos ecuaciones para el cálculo de la permeabilidad.

Volumen de Arcilla (V_{sh})

Dentro de las formaciones, los niveles presentes de lutita o arcilla en los estratos del yacimiento son un indicador de importancia a la hora de hacer una evaluación de la formación, porque este factor influye en la estimación del POES. Como la mayoría de los yacimientos de occidente poseen rocas con lutita o arcillas, debe considerarse como consecuencia la reducción de la porosidad efectiva y la baja de la permeabilidad, lo que interfiere en la saturación predicha por Archie.

Por tanto, para la estimación del V_{sh} se debe calcular la R_w , la ϕ y K con los métodos de evaluaciones limpias, permitiendo así la correcta representación de modelos de arcillosidad en el yacimiento.

Metodología para la Evaluación de Formación del Yacimiento Lagunillas Inferior 05 a través de los Perfiles de Pozos

Una metodología para la evaluación de la formación del yacimiento Lagunillas Inferior 05, se presenta como una alternativa que contribuirá con la disminución del tiempo invertido en los procesos asociados a la estimación petrofísica para garantizar la reducción de los costos operativos debido a su facilidad en la implementación y la toma de decisiones de cualquier personal encargado de dicha operación.

La aplicación de esta metodología permitirá también satisfacer necesidades de estudiantes, docentes, trabajadores, y cualquier tipo de usuario del área de ingeniería de yacimientos de pozos petroleros. Además, constituirá un aporte científico a futuras investigaciones que tendrán como punto de partida la presente investigación.

Por tanto es procedente plantearse la siguiente interrogante: ¿Es posible desarrollar una metodología que permita evaluar los parámetros petrofísicos de los yacimientos a través del análisis de los perfiles de pozos?, la respuesta es “Sí”. Esto obedece a que ya se cuenta con información para aplicar dicha metodología. Los procesos petrofísicos son complejos, pero dentro de esta propuesta se orienta a ahorrar tiempo y llegar a resultados confiables a la hora de hacer una cartelera de oportunidades y generar un proyecto de recuperación secundaria o estimación de reservas, proceso que se conoce en la industria petrolera como Fase II.

Para la elaboración de la metodología que se propone, se tomaron en cuenta cada uno de los parámetros necesarios para la evaluación de las formaciones. Las distintas etapas a seguir quedaron definidas de manera secuencial como se indica a continuación:

Resistividad del Agua de Formación

Este método es aplicable para el yacimiento Lagunillas Inferior 05 pues cuenta con una producción de 50 años, por tanto, se tienen registros

SP, Resistividad (R_l) y Porosidad. Para la evaluación de la resistividad del agua (R_w) se debe primero establecer una evaluación cualitativa del perfil. En el caso del SP, GR o Caliper, se realiza el mismo procedimiento.

Determinación de R_w a partir del registro SP.

1. Identificar el tope y la base del intervalo prospectivo con las profundidades leídas en el registro.
2. Calcular el promedio de las profundidades (Intervalo) con la finalidad de minimizar errores en la lectura al momento de introducirlas en las ecuaciones empíricas.
3. Determinar el gradiente de geotérmico con la siguiente fórmula:

$$GT = \frac{T_2 - T_1}{Prof_2 - Prof_1}$$

Donde:

T_1 : Temperatura inferior

T_2 : Temperatura superior

$Prof_1$: Profundidad inferior

$Prof_2$: Profundidad superior

Nota: Este gradiente con la temperatura promedio se puede obtener directamente de tablas, por ejemplo de las gráficas de Schlumberger.

4. Calcular la temperatura a la profundidad promedio, mediante la siguiente ecuación:

$$Tf@ = Ts + (GT * Prof.Prom)$$

Donde:

$Tf@$: Temperatura a la profundidad promedio

Ts : Temperatura de superficie

GT : Gradiente geotérmico

$Prof. Prom$: Profundidad Promedio

5. Estimar la Resistividad medida (Rm) con la siguiente formula:

$$Rm = T\ dada + \frac{T\ dada + 6,77}{Tx + 6,77}$$

Donde:

$T\ dada$: Temperatura dato

Tx : Temperatura a profundidad

6. Calcular la constante de temperatura para el cálculo de la Rwe (K), la cual se obtiene de: $(K) 61 + 0,133 * Tf$.

Donde:

(K) : es una constante

Tf : Temperatura de formación

7. Obtener el valor de SP , el cual es medido en el perfil y depende del tipo de registro tomado en el pozo.

8. Estimar la resistividad promedio de la formación (Rmf) mediante la siguiente fórmula:

$$Rmf @ Tx = Rmf @ T\ dada * \frac{T\ dada + 6,77}{Tx + 6,77}$$

Donde:

$Rmf@$: Resistividad promedio de la formación

Tx : Temperatura a profundidad

$T\ dada$: Temperatura dato

9. Medir el Rmf con la siguiente relación $Rmf > 0.1 Rmf e = 0.85 * Rmf$

10. Estimar el valor del Rwe a partir de la siguiente fórmula:

$$Rwe = \frac{Rmf\ e}{Antilog\left(\frac{-SP}{K}\right)}$$

Donde:

Rwe : Resistividad del agua

$Rmf\ e$: Resistividad de la formación

$Antilog$: Función antilogarítmica

SP : Lectura del SP obtenida por medio del perfil

(K) : Constante

11. Con los valores obtenidos de R_{we} y la temperatura final se accesa a la gráfica SP-2 de Schlumberger, para determinar el valor de la R_w .

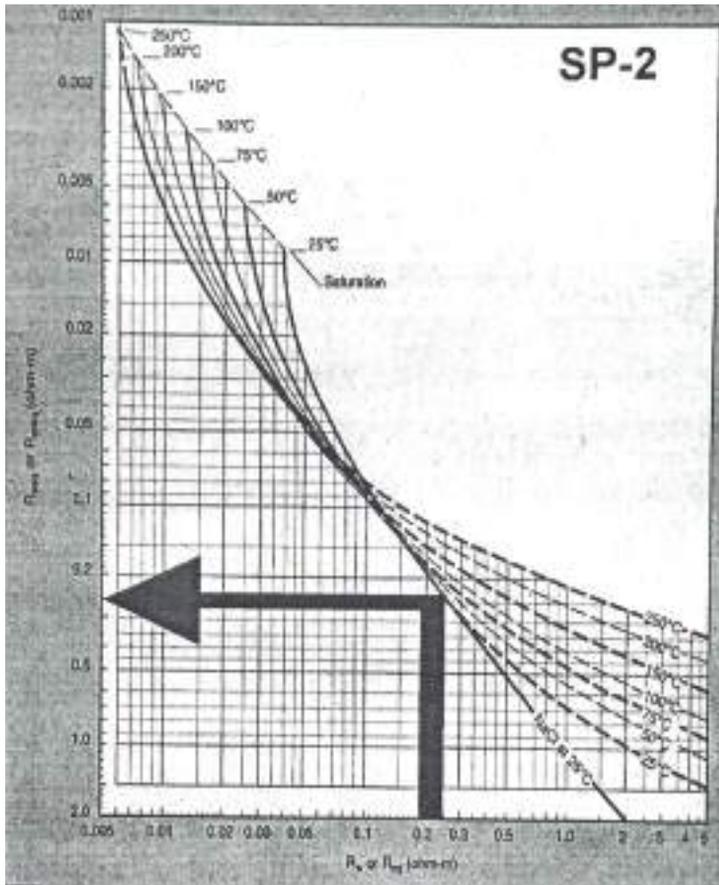


Figura 2. SP-2. Schlumberger. Tomado de Manual de Schlumberger (2009)

Porosidad (\emptyset)

La porosidad del yacimiento Lagunillas Inferior 05 será medida a través del perfil de densidad.

Determinación de la porosidad a través del perfil de densidad

1. Medir dentro del registro la curva de la densidad en el intervalo de interés, verificando se corresponda con el máximo punto arrojado por el perfil.

2. Ubicar la densidad de la matriz, establecida en el Cuadro 2. Para ello se debe tomar en cuenta la compactación de la roca, es decir, si es consolidada o no consolidada.

Cuadro 2

Densidad de la matriz obtenida por el mineral de la roca

Mineral	Fórmula	Densidad Real (p)	ρ_e	ρ_b
Cuarzo	S_3O_2	2.654	2.650	2.648
Caliza	C_2CO_2	2.710	2.708	2.710
Dolomita	$CaCO_3$ - $MgCO_3$	2.870	2.863	2.876
Anhidrita	C_3SO_4	2.960	2.957	2.977
Silvita	KCl	1.984	1.916	1.863
Halita	N_4Cl	2.165	2.074	2.032
Yes	$C_3SO_4 \cdot 2H_2O$	2.320	2.372	2.351
Carbón	C	1.800	1.852	1.796
Antracita				
Carbon Bit	C	1.500	1.590	1.514
Agua Dulce	H_2C	1.000	1.110	1.000
Agua Salada	200.000ppM	1.146	1.237	1.135
Petróleo	$n(CH_2)$	0.850	0.970	0.850

Cuadro 2 (Continuación)

Mineral	Fórmula	Densidad Real (ρ)	ρ_e	ρ_b
Metano	CH ₄	ρ_{meth}	1.247 ρ_{meth}	1.335 ρ_{meth} - 0.188
Gas	C ₁₁ H ₄₂	ρ_g	1.238 ρ_g	1.325 ρ_g - 0.188

Tomado de: *Manual de Schlumberger* (2009)

3. Estimar la Porosidad a través de la siguiente ecuación:

$$\emptyset = \frac{\rho_{matriz} - \rho_{leida}}{\rho_{matriz} - \rho_{fluido}}$$

Donde:

\emptyset : porosidad

ρ_{matriz} : densidad de la matriz

ρ_{leida} : densidad obtenida en el registro

ρ_{fluido} : densidad del fluido

Determinación de la Saturación de Agua (S_w)

Para la estimación de la saturación de agua:

1. Se debe conocer la R_w , que debe haber sido estimada por el método de SP o cualquier otro método establecido.

2. Se utiliza la ecuación de Archie para su cálculo:

$$S_w = \left(\frac{a * R_w}{\emptyset^m * R_t} \right)^n$$

Donde:

a : Coeficiente de tortuosidad

\emptyset : Porosidad

R_w : Resistividad del agua

R_t : Resistividad total

Determinación de la permeabilidad (K)

1. Se obtiene el valor de la saturación de agua S_w , posteriormente se utilizan dos ecuaciones para el cálculo de la permeabilidad.

Por Timur:

$$K = \left(\frac{100 * \phi^{2.25}}{Swirr} \right)$$

Donde:

K : Permeabilidad

$Swirr$: Saturación de agua irreducible

ϕ : Porosidad

Por Archie:

$$K = \left(\frac{86138 * \phi^{4.30175}}{Swirr^{0.496875}} \right)$$

Donde:

K : Permeabilidad

ϕ : Porosidad

$Swirr$: Saturación de agua irreducible

2. Con los valores obtenidos de las curvas de permeabilidad relativa se obtiene la saturación de agua irreducible ($Swirr$), y con el valor de la porosidad se ubica en el gráfico y se obtiene el valor de la permeabilidad.

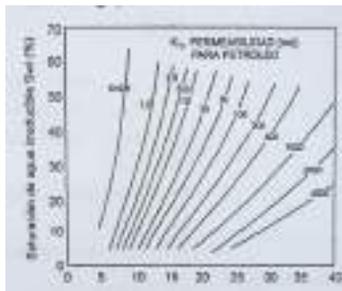


Figura 3. Permeabilidad según la relación de Tixier. Tomado de: *Manual de Schlumberger* (2009)

Volumen de Arcilla (Vsh)

Otro parámetro importante al momento de la evaluación de formaciones lo constituye el volumen de arcilla en el yacimiento (Vsh), para cuya estimación se debe calcular la Rw , y K con los métodos de evaluaciones limpias anteriormente descritos, y posteriormente obtener la representación de modelos de arcillosidad en el yacimiento. El método empleado para el cálculo de Vsh es a partir del registro GR , y se debe seguir el procedimiento que se explica a continuación:

Se toman los valores directamente del registro según la ecuación dada:

$$Vsh = \frac{GR_{arena} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}}$$

Donde:

Vsh : Volumen de arcilla.

GR_{arena} : Lectura del GR de la arena

GR_{min} : Lectura mínima del GR

GR_{max} : Lectura máxima del GR

Para analizar las representaciones en el GR arena, el cual se lee en el perfil frente al estrato, debe entenderse el GR min como el mínimo valor de la lectura del perfil, y el GR max como la moda de los valores estudiados en el estrato. Una consideración importante es que el registro debe ser normalizado para no tener errores en la medición de los valores cualitativos leídos.

Finalmente, para la evaluación del yacimiento Lagunillas Inferior 05 se contó con un perfil no normalizado pero que es de gran importancia para el desarrollo de esta investigación y la elaboración de la metodología. En este se muestran las corridas del SP , GR y $Densidad$, los cuales son los considerados en el presente trabajo.

Es importante acotar que estos datos son secundarios, tomados de PDVSA. Por lo cual, como ya se refirió, se debió cambiar la nomenclatura del pozo en función de resguardar los datos de la empresa. En relación a

esto, se le denominó pozo 01-X.

Como puede observarse en la Figura 4, en el registro del pozo 01-X se visualizaron dos (2) intervalos de interés delimitados por la zona A y la zona B con la información de los métodos descritos en el objetivo anterior. Para el análisis se tomaron los valores del perfil y se desarrolló el procedimiento estimando el valor de las propiedades en las ecuaciones antes descritas.

A continuación, se muestran los cálculos realizados al aplicar la metodología propuesta para la zona A.

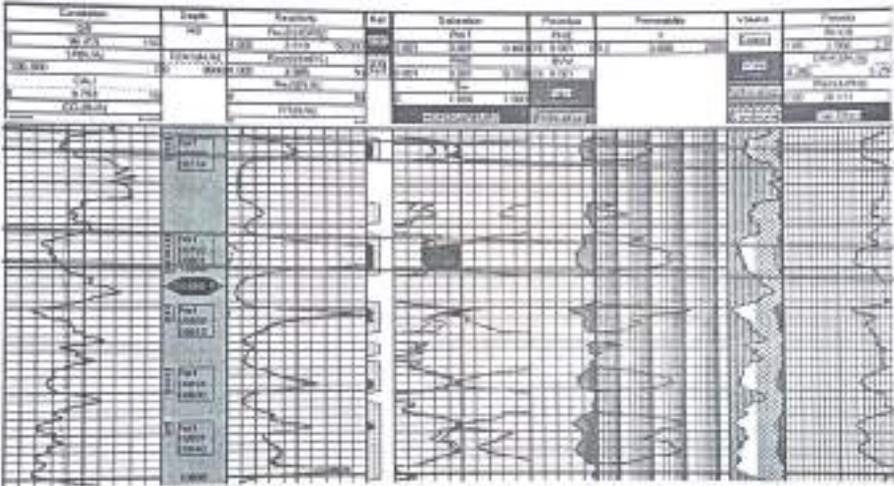


Figura 4. SP-2. Schlumberger Pozo X-01. Tomado de: PDVSA (2009)

Resistividad del agua de formación a partir del SP

Al determinar el tope y base de la zona A, quedaron establecidos en 10769 pies y 10774 pies, respectivamente. El promedio obtenido entre ambas fue de 10771.5 pies. Al calcular el gradiente geotérmico se obtuvo:

$$GT = \frac{163.05 - 163.01}{10774 - 10769} = 0.08^\circ/\text{pies}$$

Luego se calcula la temperatura a la profundidad promedio, en este caso a 10771.5 pies, por medio de la siguiente ecuación:

$$Tf@_{10771.5 \text{ pies}} = 76.9^\circ + (0.08^\circ/\text{pies} * 10771.5 \text{ pies}) = 163.072$$

Al estimar la resistividad medida (Rm) se tiene que:

$$Rm = 200 + \frac{200 + 6,77}{163.072 + 6,77} = 201.21$$

Al calcular la constante de temperatura (K):

$$(K) = 61 + 0,133 * 163.072^\circ = 82.69$$

Se determina luego la resistividad promedio de la formación (Rmf) a través de la siguiente formula:

$$Rmf@163.072^\circ = 4 * \frac{200 + 6,77}{163.072} = 0.49$$

También se calcula el Rmf con la siguiente relación $Rmf > 0.1 Rmfe = 0.85 * Rmf$; es decir:

$$Rmfe = 0.85 * 0.49 = 0.41$$

Se estima el valor del Rwe a partir de la fórmula:

$$Rwe = \frac{0.41}{\text{Antilog} \left(\frac{-(-50000)}{82.69} \right)} = 0.3$$

Accediendo nuevamente a la aplicación informática automatizada con Rwe y la temperatura final, se obtiene el valor de la Rw , en este caso 0.25.

Porosidad (\emptyset)

Una vez medido en el registro la curva de la densidad correspondiente al intervalo de interés, se obtuvo el valor de 0.07. El valor obtenido se lleva al Cuadro 3 para determinar las densidades asociadas al yacimiento, y estimar la porosidad de la siguiente manera:

$$\emptyset = \frac{2.87 - 2.45}{2.87 - 0.85} = 0.21$$

Determinación de la saturación de agua (S_w)

Utilizando la ecuación de Archie para su cálculo, la saturación de agua (S_w) es igual a:

$$S_w = \left(\frac{1 * 0.25}{0.28 * 2.11} \right) = 0.71$$

Determinación de la permeabilidad (K)

Con el valor de saturación de agua calculado anteriormente, y aplicando la fórmula de Timur se determina la permeabilidad:

$$K = \left(\frac{100 * 0.2^{2.25}}{0.35} \right) = 7.64$$

Con los valores obtenidos de las curvas de permeabilidad relativa previamente, se procede a calcular la saturación de agua irreducible (S_{wirr}) de acuerdo al valor de la porosidad. Este procedimiento requiere revisar nuevamente la figura 4, y determinar en el gráfico el valor de la permeabilidad, el cual es igual a 90 md.

Volumen de Arcilla (*Vsh*)

Método de volumen de arcilla a partir de registro GR

Obteniendo los valores requeridos del registro y aplicando la ecuación se tiene que:

$$Vsh = \frac{67.49 - 36.63}{158.12 - 36.63} = 0.25$$

Para la zona B se aplicó el mismo procedimiento, obteniéndose los respectivos valores de las propiedades petrofísicas, los cuales se exponen a continuación:

Cuadro 3

Datos para la estimación de las propiedades petrofísicas

Zona	Tope	Base	AN (Pies)	\emptyset	S_w (%)	K (mD)	Vsh (%)
A	10769	10774	5	0.28	0.71	90	0.25
B	10792	10801	9	0.20	0.42	45	0.06

De los datos obtenidos, debe calcularse un promedio de cada uno de los parámetros anteriores para analizar y ofrecer una conclusión. Para ello se debe aplicar una ecuación empírica que permita obtener los promedios de todas las propiedades, de allí que se aplique la fórmula promedio de ponderado por espesor de arena.

Los valores de los resultados obtenidos expresan que el intervalo A es más prospectivo que el B ya que tiene una mediana porosidad mediada de 0,28 y con el GR leído se expresa una arena limpia; además, el volumen de arcilla es de 0.25 por ciento, valor relativamente bajo.

Cabe destacar que la metodología desarrollada para el yacimiento Lagunillas Inferior 05 puede ser aplicada para otros yacimientos siempre

y cuando se cuente con los registros respectivos.

Conclusiones

Los parámetros que se midieron en el yacimiento Lagunillas Inferior 05 fueron resistividad de la formación (R_t), resistividad del agua de formación (R_w), temperatura de la formación (T), porosidad (ϕ), factor de resistividad de la formación (E), saturación de agua (S_w), permeabilidad (K). Los mismos permitieron orientar los tipos de perfiles a utilizar, así como categorizar qué propiedad se determina por medio de las ecuaciones empíricas o por lecturas directas en el registro, para conocer y relacionar las mismas con las propiedades de la formación.

Se determinó que los métodos de evaluación de formaciones limpias y arcillosas son vitales para la cuantificación de las propiedades de la roca. Para aplicar el primero se necesitó de registros de resistividad, los cuales han de ser normalizados; además deben tenerse datos de la temperatura y la profundidad para el SP y GR , ya que estos son base para las ecuaciones. La densidad de la matriz se obtiene de tablas, así como el cálculo de SP real en este caso establecido por Schlumberger. Por otro lado, la porosidad (ϕ) y permeabilidad (K) pueden ser medidas perfectamente a través de los registros de pozos. También el volumen de arcilla (V_{sh}) es indispensable para determinar proyectos futuros o detectar zonas con anisotropías.

Dentro del registro obtenido del pozo 01-X se encontraron dos zonas de interés denominadas A y B, de las cuales a través de las ecuaciones empíricas y lecturas en los registros se obtuvo la siguiente información: una (ϕ) promedio de 0.17 por ciento, lo que quiere decir una mediana porosidad; una S_w promedio del 0.48 por ciento indicativo que es el fluido desplazante en el medio poroso, dando la proporcionalidad de la saturación de petróleo. También se obtuvo una permeabilidad promedio de 90 mD , lo que permite visualizar una baja permeabilidad. Y, por último, el V_{sh} promedio de 0.11 refiere que no es una zona arcillosa. De las dos zonas la más prospectiva es la zona A, por lo que indica como procedimiento

cañonear.

El desarrollo de la metodología permitió una orientación de los procesos que se deben llevar a cabo para la generación de información petrofísica a través de los perfiles de pozos que muestra la normalización de las curvas, debido a que la información que se toma es cualitativa y cualquier error es influyente en los procesos que se lleven a cabo en los proyectos futuros. La secuencia direccionó cuáles son los procedimientos a seguir y la importancia que tienen los mismos a la hora de ejecutar la digitalización para que se puedan cargar en los diversos software.

Referencias

- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación*, 5^{ta} edición. Caracas: EPITESME.
- Casal, A. (2004). *Estado del arte en la determinación de espesores de secciones erosionadas por medio de registros de pozos*. Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Universidad de Los Andes (ULA). Núcleo Trujillo. Trujillo, Estado Trujillo.
- Centro Internacional de Educación y Desarrollo (1999). *Manual de Registro de Pozos CIED - PDVSA*. Venezuela: Universidad Corporativa.
- Graing Solomon (2001). The evolution of log analysis methods. *Offshore Magazine*, Vol II, pp. 2-16.
- Escobar, F. (2002). *Fundamentos de ingeniería de yacimientos*. Material mimeografiado. CIED Tamare-Zulia: Venezuela.
- Falla, E. (2005). *Interpretación de registros de pozos de petróleo*. Facultad de Ciencias Físicas. E.A.P. de Física. Trabajo de grado para optar al título de licenciado en física. Universidad Nacional Mayor de San Marco. (UNMSM) Lima: Perú.
- Pérez, J. (2008). *Evaluación de las reservas del yacimiento SBARB-64 y el prospecto SBARB-115*. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero en Petróleo. Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño” Extensión Costa Oriental del Lago, Cabimas (IUPSM COL Cabimas). Cabimas: Venezuela.
- Schlumberger (2009). *Interpretación de perfiles*. Manual de referencia. 1era Edición. 486 páginas. México: Autor.
- Tamayo y Tamayo, M. (2006). *El proceso de investigación científica*. México, D.F.: Editorial Lisuma.