

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Desarrollo de Aplicaciones Informáticas
Recibido: 28/02/2016 | Aceptado: 13/10/2016

Motor de Interpretación Gráfica para el cálculo de Volumen de Arcilla

Graphical Interpretation Engine for calculating Clay Volume

Ridel Oscar García Mora ^{1*}, Yusleidy Valera González¹

¹ Dpto. Construcción de Componentes CEDIN Universidad de las Ciencias Informáticas UCI Carretera a San Antonio de Los Baños, Torrens, La Lisa.

* Autor para correspondencia: rmora@uci.cu

Resumen

Calcular el valor porcentual de arcilla presente en las formaciones de rocas es uno de los primeros pasos en la estimación del volumen de hidrocarburos que puede ser extraídos por un pozo determinado. En la evaluación petrofísica de formaciones son empleados de conjunto: los datos tomados directamente en el pozo mediante los registros geofísicos, y aplicaciones informáticas que permiten procesar estos datos para realizar interpretaciones, cálculo de nuevas propiedades que no pueden ser leídas directamente del pozo y visualización de la información para el análisis de la misma. El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un motor de interpretación gráfica, que permita realizar ajustes de los parámetros de cálculo de volumen de arcilla a través de los módulos que muestran información gráfica en el Sistema de Análisis e Interpretación de Registros de Pozos de Petróleo. Para desarrollar este trabajo se utilizaron métodos científicos como el analítico-sintético, modelado y observación. Además, se utilizó el *Rational Unified Process*, lenguaje de modelado UML, la herramienta CASE Visual Paradigm, el lenguaje de programación C++ y como marco de desarrollo Qt, y como entorno de desarrollo QT Creator. Como resultado se obtuvo un mecanismo que ante un cambio en los parámetros de cálculo realizado por el usuario es capaz de recalcular los resultados y mostrar los mismos de manera inmediata. La integración del motor de interpretación gráfica al Sistema de Análisis e Interpretación de Registros de Pozos de Petróleo logra que el proceso de interpretación que realiza el usuario sea más interactivo.

Palabras clave: arcilla, gráfica, interpretación, petrofísica.

Abstract

To assess the percentage of clay present in rock formations is one of the first steps in estimating the volume of oil that can be extracted from a well. For the petrophysical evaluation of formations, along with data being taken directly from the well through the geophysical logs, software applications are used allowing to process data to obtain interpretations, new properties that cannot be read directly from the well and also to display the information for further analysis. This work aims to allow users to adjust parameters for calculating volume of clay through modules that show graphical information in the System Analysis and Interpretation of Oil Well Logs. To develop this work, scientific methods such as analytic-synthetic, modeling and observation were used. In addition, the RUP, UML modeling language, the CASE tool Visual Paradigm, the programming language C++ and Qt as a development framework and the QT Creator as development environment were used. As a result, a mechanism facing a change in the calculation parameters introduced by the user was obtained, which is able to recalculate the results and display them immediately. With the integration of graphic rendering engine to the System Analysis and Interpretation of Oil Well Logs makes possible that the process of interpretation carried out by the user to be done in a more interactive way.

Keywords: *clay, graphics, interpretation, petrophysics.*

Introducción

En el análisis petrofísico, el volumen de arcilla es uno de los parámetros clave que se utilizan para corregir los cálculos de la porosidad y la saturación de agua, debido a los efectos que produce la arcilla unida al agua sobre los valores de estas propiedades (Crain, 2000). La palabra arcilla proviene del latín “argilla” y esta del griego “argos” o “argilos” (= blanco), por el color del material usado en cerámica.

El termino arcilla, que se considera y define de muchas maneras, es variable y difícil de precisar. En edafología y sedimentología frecuentemente se usa como un tamaño (<2 micro) que identifica un material heterogéneo, compuesto de minerales propios de la arcilla y otras sustancias, incluyendo fragmentos de roca, óxidos hidratados, geles y sustancias orgánicas. Petrofísicamente se llama arcilla a una gran cantidad de materiales sedimentarios, de granulometría fina y mineralógicamente poco definidos (Besoain, 1985).

Para determinar el volumen de arcilla de una formación de rocas a una profundidad determinada pueden ser utilizadas fórmulas matemáticas que utilizan como entrada uno (indicadores simples) o dos (indicadores dobles) registros de pozo. Entre los registros de pozo que son indicadores simples de arcilla se encuentran los registros de Rayos Gamma, Neutrón y Resistividad. Los indicadores dobles más utilizados son las combinaciones de registros Densidad-Neutrón, Densidad-Sónico y Sónico-Neutrón.

Las fórmulas matemáticas para determinar volumen de arcilla utilizando tanto indicadores simples como indicadores dobles, tienen entre sus términos constantes numéricas que varían de acuerdo a la formación de rocas que se esté analizando. Es debido a lo anterior que por ejemplo en la fórmula para el cálculo de volumen de arcilla para indicadores simples:

$$Vcl = \frac{\text{LogCurve} - \text{LogClean}}{\text{LogClay} - \text{LogClean}} \quad (1)$$

Donde:

Vcl: Volumen de arcilla.

LogCurve: Valor del registro de pozo indicador de arcilla.

LogClay: Valor del registro en una formación con 100% arcilla.

LogClean: Valor del registro en una formación con 0% arcilla.

Los valores de LogClean y LogClay pueden variar dentro de un mismo pozo de acuerdo a la formación de rocas presentes en la profundidad donde se esté calculando el volumen de arcilla. Esto también sucede al calcular este parámetro petrofísico por el método de indicadores dobles pues las fórmulas matemáticas para esto tienen presente constantes numéricas que dependen de las características de las rocas que se estén analizando. Por lo anteriormente descrito para dar una solución informática al cálculo de volumen de arcilla por indicadores simples e indicadores dobles, es necesario brindarle al especialista en petrofísica la posibilidad de cambiar las constantes numéricas presentes en las fórmulas matemáticas empleadas en los cálculos, desde los módulos que muestran la información del registro de pozos en forma de gráficas. Esto permite que los resultados obtenidos puedan ser ajustados de manera visual con lo cual se logra que el proceso de interpretación sea más intuitivo para el petrofísico. Además, ante un cambio realizado por el usuario en los parámetros de la interpretación el sistema debe ser capaz de recalcular los resultados con los nuevos valores y mostrarlos de manera inmediata.

Teniendo en cuenta que el Sistema para el Análisis e Interpretación de Registros de Pozos de Petróleo (AnPer) no cuenta con un módulo, que ante cambios a los parámetros de cálculo de volumen de arcilla desde los gráficos que visualizan la información en el sistema recalcule los resultados y los muestre al usuario, se plantea el diseño e implementación del mismo. Además, el módulo debe tener tiempos de respuesta eficientes y bajo consumo de memoria, permitiéndole al usuario que el proceso de cálculo de volumen de arcilla en el sistema sea de manera rápida e interactiva.

Materiales y métodos

Conceptos asociados al tema abordado:

El registro de pozo es una grabación contra profundidad de alguna de las características de las formaciones de atravesadas, hechas por aparatos de medición (herramientas) en el hoyo del pozo (SCRIB, 2012), que son estudiadas y analizadas en la petrofísica para conocer más de su naturaleza.

Las características de las rocas grabadas en los registros de pozos brindan una información limitada acerca del mismo por lo que se hace necesario calcular otras características a partir de las que ya son conocidas.

La porosidad se define como el volumen de poros por cada unidad volumétrica de formación, o sea, es la fracción del volumen de total de una muestra que es ocupada por poros o huecos, el símbolo de la porosidad es Φ o PHI y se expresa en fracciones (v/v) o en por ciento (%). Generalmente, los cálculos se realizan utilizando los valores en forma fraccionaria (York, 2011).

El volumen de arcilla se define como el porcentaje neto de arcilla presente en una formación. Este parámetro puede ser determinado a partir de los registros de rayos gamma (GR) o del potencial espontáneo (SP) (Jávita, 2007).

La saturación de una formación es el porcentaje del volumen poroso ocupado por el fluido en consideración. Por lo tanto, la saturación de agua es la fracción o porcentaje del volumen poroso que contiene agua de formación. La saturación de petróleo o gas es la fracción del volumen poroso que contiene petróleo o gas. Los poros deben saturarse con algún fluido. De esta manera la suma de las saturaciones de los diferentes fluidos contenidos en la roca es igual al 100% (Castillo, 2011).

Soluciones de software analizadas:

Interactive Petrophysics (IP): Software para el análisis e interpretación de registros de pozos, ideal tanto para geólogos como petrofísicos. Está diseñado para ejecutarse en sistema operativo *Windows* y fue desarrollado empleando el framework de desarrollo *.NET* por la compañía *Senergy*. Este sistema brinda una variedad de funcionalidades para el análisis petrofísico entre las que se destacan: visualizar la información en varias vistas como: histogramas, *crossplot* y pistas, procesamiento de registro de imagen y un módulo de análisis, que cubre por completo el flujo de trabajo de procesamiento de datos, para el análisis estadístico de los resultados. Además, permite la ejecución de programas de usuario y la estimación de propiedades petrofísicas a partir de interpretaciones. “Su principal funcionalidad es el motor de interpretación gráfica, que permite al usuario realizar una rápida interpretación de múltiples zonas, mediante el ajuste de parámetros en gráficos de registro, *crossplots* e histogramas” (Senergy, 2008).

Techlog: Plataforma de software enfocada a proveer soluciones y crear flujos de trabajos relacionados con la información del pozo, sin importar la dimensión y dominio técnico, en colaboración con las diferentes disciplinas (Carrasco, 2012). *Techlog* está diseñado para ejecutarse en sistema operativo *Windows* y fue desarrollado por la compañía Schlumberger utilizando los lenguajes de programación C++ y *Python*. Además, en su implementación son empleadas las bibliotecas Qt. Esta plataforma permite acceder a datos provenientes de núcleos, registros, imágenes, fluidos entre otros, posibilitando tanto a geofísicos, geólogos y petrofísicos visualizar, analizar, interpretar y editar los datos del pozo en una sola plataforma de software. *Techlog* incorpora, además, varios módulos de visualización tanto en 2D como en 3D y una colección extensa de módulos para la interpretación. Requiriendo para su uso de una licencia propietaria, y se recomienda para su buen funcionamiento, 16.0GB de Memoria RAM y un procesador de 8*2.6GHz.

Métodos Teóricos:

Análítico-Sintético: Se utiliza para analizar teorías y elementos bibliográficos relacionados con los intérpretes y los lenguajes de programación, permitiendo la extracción de los elementos más importantes que dan inicio a la investigación.

Modelación: Es utilizado para representar gráficamente la solución que se propone.

Métodos Empíricos:

Observación: Se emplea para estudiar las características y comportamientos de las soluciones similares, permitiendo obtener información relevante sobre el proceso de interpretación de programas.

Metodología de desarrollo RUP (*Rational Unified Process*)

Es una metodología tradicional de desarrollo de software guiado por los casos de uso, centrado en la arquitectura, iterativo e incremental diseñado como un marco para los métodos y herramientas de UML (Pressman, 2008). El Proceso Unificado de Desarrollo define cuatro fases entre las que se encuentra:

- 1) Inicio que abarca la comunicación con el cliente y las actividades de planeación, y destaca el desarrollo y el refinamiento de casos de uso como un modelo primario.
- 2) Elaboración que abarca la comunicación con el cliente y las actividades de modelado con un enfoque en la creación de modelos de análisis y diseño, con énfasis en las definiciones de clase y representaciones arquitectónicas.
- 3) Construcción que refina y después traduce el modelo de diseño en componentes de software implementados.
- 4) Transición que transfiere el software del desarrollador al usuario final para realizar las pruebas y obtener la aceptación.

RUP define nueve disciplinas a realizar en cada fase del proyecto, entre las que se encuentra seis de procesos como son: Modelado del negocio, Análisis de requisitos, Análisis y Diseño, Implementación, Prueba y Distribución. Además, cuenta con tres de soporte entre las que esta Gestión de configuración y cambios, Gestión del proyecto y Gestión del entorno. En esta metodología se define claramente quien, cómo, cuándo y qué debe hacerse en el proyecto.

Características principales de RUP:

- Está formado por componentes de software.
- Unifica los mejores elementos de metodologías existentes.
- Preparado para desarrollar grandes y complejos proyectos.
- Orientado a Objetos.
- Utiliza el Lenguaje Unificado de Modelado (UML) como lenguaje de representación visual.

Lenguaje Unificado de Modelado (UML)

UML es un lenguaje estándar de modelado visual que se usa para especificar, construir, documentar y visualizar artefactos de un sistema de software. UML permite a los desarrolladores visualizar el resultado de su trabajo en esquemas o diagramas estandarizados. Por ejemplo, símbolos o iconos característicos utilizados para capturar los requisitos. Estos iconos no son más que una notación gráfica, sin embargo, detrás de esta notación, UML especifica un significado, es decir, una semántica.

Dicho lenguaje proporciona un vocabulario que incluye tres categorías: elementos, relaciones y diagramas, conteniendo aspectos conceptuales tales como procesos de negocios, funciones del sistema, y aspectos concretos como expresiones de lenguajes de programación, esquemas de bases de datos y componentes de software reutilizables (Ivan Jacobson, 2000).

Visual Paradigm

Herramienta CASE (*Computer Aided Software Engineering*) con licencia gratuita, que propicia un conjunto de ayudas para el desarrollo de programas informáticos dando soporte al modelado visual con UML (*Unified Modeling Language*), desde la planificación, pasando por el análisis y el diseño, hasta la generación del código fuente de los programas y la documentación (International, Visual Paradigm, 2008).

Visual Paradigm ofrece:

- Entorno de creación de modelos conformes a UML.
- Diseño centrado en casos de uso y enfocado al negocio que generan un software de mayor calidad.
- Capacidades de ingeniería directa (versión profesional) e inversa.

- Modelo y código que permanece sincronizado en todo el ciclo de desarrollo.
- Disponibilidad de múltiples versiones, para cada necesidad.
- Disponibilidad de integrarse en los principales Entornos de Desarrollo Integrado (IDE).
- Disponibilidad en múltiples plataformas.
- Extensible mediante desarrollo de nuevos Módulos (*plug-ins*).

Lenguaje de programación C++:

C++ es un lenguaje imperativo, orientado a objetos, derivado de C. Al igual que C; C++ está muy ligado al hardware subyacente, manteniendo una considerable potencia para la programación a bajo nivel; pero se le han añadido elementos que permiten también un estilo de programación con alto nivel de abstracción. Debido a esto; C++ brinda la posibilidad de crear clases, plantillas, sistema de espacios de nombres y funciones en línea, posee un mecanismo para el manejo de excepciones, permite la sobrecarga de operadores y utiliza operadores para el manejo de memoria. Este lenguaje de programación esta estandarizado por la Organización Internacional de Estándares (ISO) y cuenta con una biblioteca estándar de alta calidad (Stroustrup, 2013).

Framework (marco de trabajo) de desarrollo:

Qt es un *framework* multiplataforma, que se utiliza para el desarrollo de aplicaciones, está escrito en C++; sin embargo, es posible utilizarlo con otros lenguajes como C#, PHP, Python, y Ruby. Qt ofrece bibliotecas de código para: creación de interfaces gráficas de usuario, acceso a bases de datos, manipulación de contenido XML (*eXtensible Markup Language*), comunicación en red, visualización con OpenGL, entre otras. Además; extiende el lenguaje de programación C++, a través de macros y meta-información, agregando nuevas características como: el bucle *foreach*, la sentencia *forever* e introspección (Digia, 2012).

Qt Script (módulo del framework Qt):

QtScript es un motor de secuencias de comandos que ha formado parte el conjunto de herramientas Qt desde la versión 4.3. El lenguaje de programación se basa en el ECMAScript (ECMA International, 2013) con un par de desviaciones y extensiones. Esta biblioteca cuenta con el motor, y una API C++ para evaluar código QtScript, este módulo permite exponer métodos y objetos de clases derivadas de QObject para que puedan ser utilizadas en el código QtScript (Digia, 2012).

Metodología Computacional

Como primer paso en el desarrollo del motor para la interpretación gráfica, se definieron los requisitos funcionales y no funcionales que el módulo iba a incorporar al sistema AnPer.

Requisitos Funcionales:

- Elegir modelo(s) de cálculo de volumen de arcilla a utilizar.
- Elegir conjunto de zonas de entrada.
- Modificar curva(s) de entrada de modelo de cálculo de volumen de arcilla.
- Modificar curva(s) de salida de modelo de cálculo de volumen de arcilla.
- Eliminar modelo de cálculo de volumen de arcilla.
- Modificar constante numérica de modelo de cálculo de volumen de arcilla desde el componente visualizador de pistas.
- Modificar constante numérica de modelo de cálculo de volumen de arcilla desde el componente histograma.
- Modificar constante numérica de modelo de cálculo de volumen de arcilla desde el componente *cross-plot*.

Requisitos no funcionales:

- Tiempo de ejecución menor de 750 ms para un conjunto de datos de entrada con menos de 45000 valores en PC con microprocesador Intel Pentium 4, 2GB de RAM.
- Ejecutarse tanto en sistema operativo Windows 7 como en GNU/Linux Debian 7.

Una vez definidos los requisitos funcionales y no funcionales, se realizó un estudio de las expresiones matemáticas para calcular volumen de arcilla a partir de uno y de dos registros indicadores, resultando elegidas para la confección del módulo las siguientes:

Para calcular el volumen de arcilla (V_{cl}) a partir del registro rayos gamma (Gr) se emplea el siguiente procedimiento:

$$I_{Gr} = \frac{Gr_{log} - Gr_{min}}{Gr_{max} - Gr_{min}} \quad (2)$$

Donde:

Gr_{log} : Valor del registro de rayos gamma a una profundidad dada.

Gr_{max} : Valor del registro Gr frente a una formación arcillosa.

Gr_{min} : Valor del registro Gr frente a una formación limpia de arcilla.

I_{Gr} : Índice de rayos gamma.

$V_{cl} = I_{Gr}$ (3): Respuesta lineal, estimado de primer orden.

$V_{cl} = 0.08 * (2^{3.7 * I_{Gr}} - 1)$ (4): Larionov (1969), rocas del período terciario.

$$V_{cl} = \frac{I_{Gr}}{3-2*I_{Gr}} \text{ (5): Steiber (1970).}$$

$$V_{cl} = 1.7 - [3.38 - (I_{Gr} - 0.7)^2]^{0.5} \text{ (6): Clavier (1971).}$$

$$V_{cl} = 0.33 * (2^{2*I_{Gr}} - 1) \text{ (7): Larionov (1969), rocas antiguas.}$$

Evaluando en la fórmula (2) los valores de Gr_{log} , Gr_{min} y Gr_{max} para una profundidad dada, se obtiene el valor de I_{Gr} y de acuerdo a la formación de rocas presente en la profundidad para la cual se calculó el valor de I_{Gr} se evalúa una de las fórmulas: (3), (4), (5), (6) o (7). Obteniéndose así el valor del volumen de arcilla (V_{cl}) de las formaciones de rocas para la profundidad que se esté evaluando (Faculty of Matematics and Natural Sciences, 2012).

El cálculo del volumen de arcilla a partir del registro de Neutrón se realiza utilizando la siguiente fórmula:

$$V_{cl} = \frac{\varphi - \varphi_{clean}}{\varphi_{clay} - \varphi_{clean}} \quad (8)$$

Donde:

V_{cl} : Valor de volumen de arcilla.

φ : Valor del registro de neutrón leído en el pozo.

φ_{clean} : Valor del registro neutrón en una formación limpia de arcilla.

φ_{clay} : Valor del registro neutrón en una formación arcillosa.

Para calcular el volumen de arcilla a partir de un registro de Resistividad se utiliza la siguiente fórmula matemática:

$$V_{cl} = \frac{1/Rt - 1/Rt_{clean}}{(1/Rt_{clay} - 1/Rt_{clean})} \quad (9)$$

Donde:

V_{cl} : Valor de volumen de arcilla.

Rt : Valor del registro de resistividad leído del pozo.

Rt_{clean} : Valor del registro resistividad en una formación limpia de arcilla.

Rt_{clay} : Valor del registro resistividad en una formación arcillosa.

En el cálculo del volumen de arcilla a partir del registro de Potencial Espontáneo (SP) se emplea la siguiente fórmula:

$$V_{cl} = \frac{SP - SP_{clean}}{(SP_{clay} - SP_{clean})} \quad (10)$$

Donde:

V_{cl} : Valor de volumen de arcilla.

SP : Valor del registro de potencial espontáneo leído en el pozo.

SP_{clean} : Valor del registro SP en una formación limpia de arcilla.

SP_{clay} : Valor del registro SP en una formación arcillosa.

En el caso del cálculo del volumen de arcilla utilizando dos indicadores se utilizó el método del punto de arcilla y la línea limpia el cual tiene la siguiente fórmula de manera general (Senergy, 2007):

$$V_{cl} = \frac{(DI_1Cl_2 - DI_1Cl_1) * (DI_2 - DI_2Cl_1) - (DI_1 - DI_1Cl_1) * (DI_2Cl_2 - DI_2Cl_1)}{(DI_1Cl_2 - DI_1Cl_1) * (DI_2Clay - DI_2Cl_1) - (DI_1Clay - DI_1Cl_1) * (DI_2Cl_2 - DI_2Cl_1)} \quad (11)$$

Donde:

V_{cl} : Valor del volumen de arcilla.

DI_1 : Valor del registro de pozo usado como primer indicador.

DI_2 : Valor del registro de pozo usado como primer indicador

DI_1Cl_1 y DI_1Cl_2 : Valores de la línea limpia de arcilla para el primer indicador.

DI_2Cl_1 y DI_2Cl_2 : Valores de la línea limpia de arcilla para el segundo indicador.

DI_1Clay y DI_2Clay : Coordenadas del punto de arcilla.

Una vez definidos los requisitos funcionales, no funcionales y además tener definidos los modelos matemáticos que se utilizarían en el desarrollo del módulo, se continuó siguiendo lo que establece la metodología de desarrollo RUP que es la descripción de los casos de uso, el diseño e implementación, integración al sistema AnPer y el desarrollo de pruebas. Los resultados de todo lo anterior son descritos en la siguiente sección.

Resultados y discusión

Como primer resultado de esta investigación se obtuvieron los diagramas de los casos de uso que debían ser adicionados al sistema para aprovechar las potencialidades que brinda el motor de interpretación gráfica a implementar. En la figura 1 se muestran los casos de uso que tiene el módulo de cálculo de volumen de arcilla. En la figura 2 se detalla el caso de uso que se añadió a cada uno de los módulos: visualizador de pistas, histograma y *cross-plot*. Este caso de uso es el que permite que el usuario modifique valores del modelo de cálculo en los módulos que muestran la información gráfica en el sistema.

En la figura 3 se ilustran las interacciones entre los módulos del sistema y del sistema con el usuario, cuando el petrofísico realiza cambios a los valores de un modelo de interpretación desde los módulos que muestran información gráfica en el sistema. Los pasos que ejecuta el sistema ante un cambio en los parámetros de la interpretación hecho por el usuario son los siguientes:

1. El usuario realiza el cambio del parámetro desde una gráfica del sistema.
2. El cambio en la gráfica desencadena un cambio en el motor de interpretación. Haciendo que este módulo decore la plantilla de código *java script* asociada el mismo.
3. El motor ejecuta en el intérprete de programas de usuario la plantilla con el código decorado, produciendo un cambio en los datos del sistema.
4. El cambio en los datos del sistema es notificado a la gráfica para que se actualice con los nuevos valores.

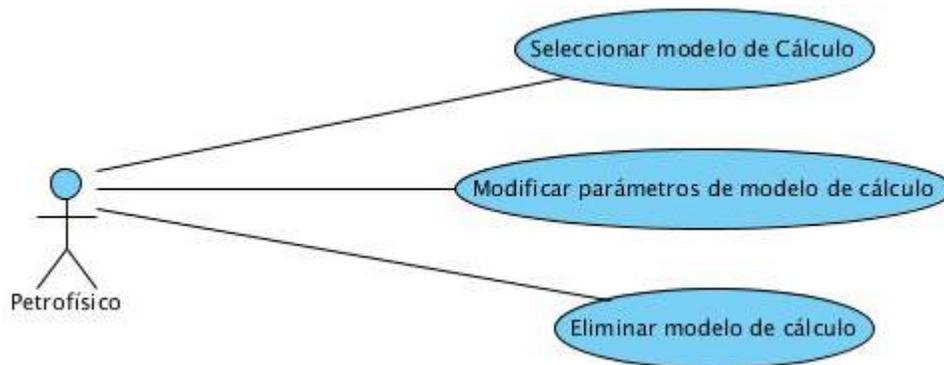


Figura 1. Diagrama de Casos de Uso del módulo de cálculo de volumen de arcilla.

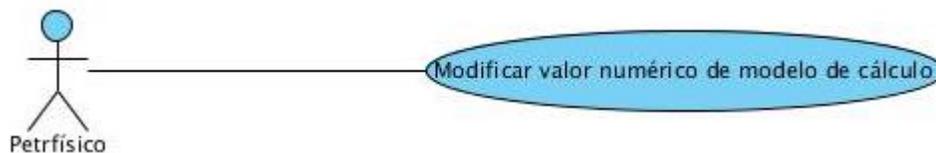


Figura 2. Caso de uso que se agrega a los módulos que muestran información visual del sistema.

En la figura 4 se muestra el módulo de visualización de pistas empleando la interpretación gráfica para calcular volumen de arcilla a partir de los registros de pozo CGR y SP. Cuando el petrofísico desee realizar un cambio en los parámetros de cálculo, solo debe mover horizontalmente una de las líneas verticales (rojas o verdes que encuentran en los carriles 2 y 3). A partir de esto el sistema recalculará los resultados y los visualizará en el carril 4.

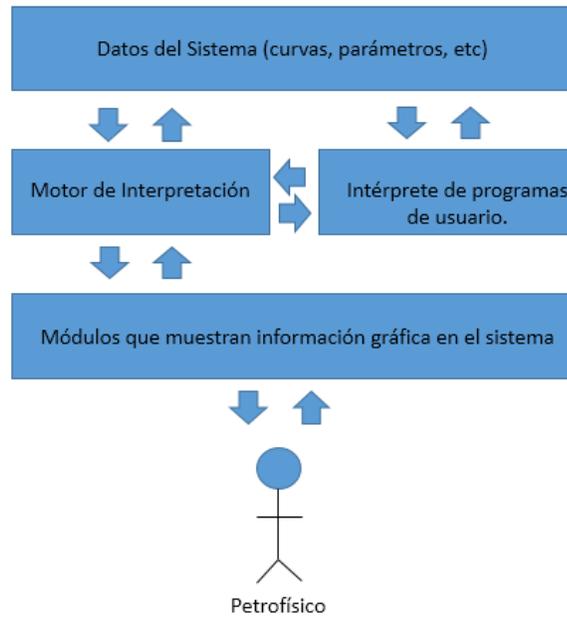


Figura 3. Diagrama donde se muestran las interacciones del motor con los demás módulos del sistema.

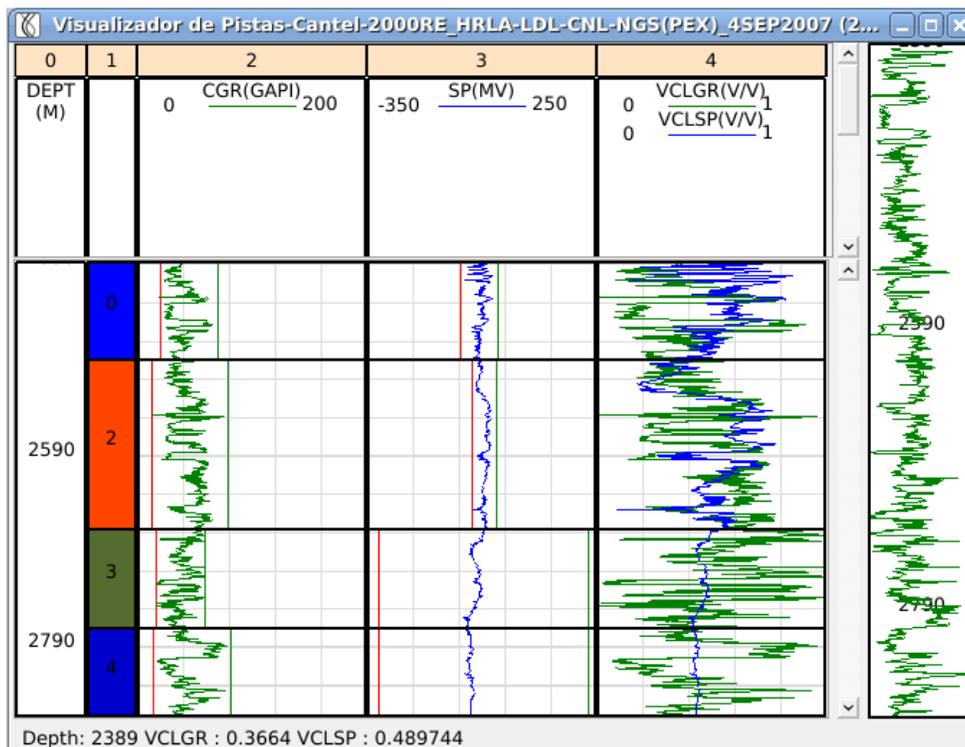


Figura 4. Vista del Visualizador de Pistas empleando interpretación gráfica.

Conclusiones

Con el desarrollo del presente trabajo se logró desarrollar un motor de interpretación gráfica para el cálculo del volumen de arcilla, empleando herramientas y tecnologías libres lo cual contribuye a alcanzar la soberanía tecnológica de nuestro país. Esta investigación brinda un método para desarrollar motores de interpretación que calculen otros parámetros petrofísicos tales como Porosidad y Saturación de Agua. La solución desarrollada como parte de este trabajo le permite al Sistema para el Análisis e Interpretación de Registros de Pozos de Petróleo (AnPer) contar con una mayor flexibilidad para calcular volumen de arcilla permitiendo obtener resultados más exactos y haciendo el proceso de cálculo de este parámetro petrofísico más interactivo.

Referencias

- BESOAIN, EDUARDO. *Mineralogía de arcillas de suelos*. San Jose, IICA, 1985. 8 p.
- CASTILLO, JUAN JIMENEZ. *Registros Geofísicos*. Mexico, PPUC, 2011. 23 p.
- CARRAZCO, JUAN M. 2012. *Una solución dedicada al pozo para el ciclo de vida de un activo*. 2012.
- CRAIN, E. R. (ROSS). *CRAIN'S PETROPHYSICAL HANDBOOK*. [En línea] CRAIN'S PETROPHYSICAL HANDBOOK, 2000. [Consultado el: 26 de agosto de 2014]. Disponible en: [<http://www.spec2000.net/11-vshbasics.htm#b4>].
- DIGIA. *Qt*. [En línea] Digia, 2012. [Consultado el: 3 de octubre de 2013]. Disponible en: [<http://qt.digia.com/Product/>].
- QT PROJECT*. [En línea] Digia, 2012. [Consultado el: 25 de septiembre de 2013]]. Disponible en: [<http://qt-project.org/doc/qt-5.0/qtscript/qtscript-index.html>].
- FACULTY OF MATEMATICS AND NATURAL SCIENCES. *Porosity Logs*. Oslo : University of Oslo, 2012. 11 p.
- INTERNATIONAL, VISUAL PARADIGM. *Visual Paradigm*. [En línea] Visual Paradigm International, 2008. [Consultado el: 28 de septiembre de 2013]. Disponible en: [<http://www.visual-paradigm.com/product/vpuml/features/>].
- IVAN JACOBSON, GRADY BOOCH, JAMES RUMBAUGH. *El Proceso Unificado de Desarrollo de Software*. Madrid, The Addison-Wesley Object Technology Series, 2000. 407 p.
- JÁVITA, TATIANA ARACELY REVELO. *Actualización de Reservas y Ubicación de Pozos de Desarrollo en el Campo Tapi-Tetete*. Tesis Ingeniería en Petróleos, EPN, Quito, 2007.
- PRESSMAN, ROGER S. *Ingeniería del Software* . Nueva York , McGraw-Hill, 2008. 423 p.

SCRIB. *Registro o Perfilaje de Pozos*. [En línea] SCRIB, 2012. [Consultado el: 15 de septiembre de 2013.] Disponible en: [<http://es.scribd.com/doc/26228291/Registro-o-Perfilaje-de-Pozos>].

SENERGY. *Interactive Petrophysics Users Manual*. Kincardneshire, PGL, 2007. 818 p.

SenergyWorld. [En línea] Senergy, 2008. [Consultado el: 12 de octubre de 2013]. Disponible en: [<http://www.senergyworld.com/software/interactive-petrophysics>].

STROUSTRUP, BJARNE. *The C++ Programming Language*. Nueva York, Addison-Wesley, 2013. 24 p.

YORK, ESTHER MARÍA BISBÉ. *Elementos Básicos de Geofísica de Pozos*. La Habana, EPEP, 2011. 15 p.