

GENERACIÓN DEL MODELO GEOMECÁNICO 3D DEL YACIMIENTO C-INF VLC-363, APLICADO AL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE HOYO

Diego Peña^{1*} y Franatalina Márquez¹

¹ Universidad de los Andes - Facultad de Ingeniería

*diego_4293@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es generar un modelo geomecánico 3D en el Bloque III, con la finalidad de optimizar futuras perforaciones en el campo. Para ello, se construyó en primera instancia el modelo geomecánico 1D, siguiendo el flujo de trabajo del MEM – Mechanical Earth Model, éste consta de la auditoría de información que incluye la recopilación de datos de pozos, análisis de eventos operacionales de perforación e identificación de litologías, seguidamente el cálculo de las propiedades mecánicas, esfuerzo de sobrecarga, presión de poro, magnitudes y direcciones de los esfuerzos horizontales y por último el análisis de la estabilidad de hoyo. Los resultados del MEM 1D, fueron visualizados en el software Drillworks. El modelo geomecánico 3D, se desarrolló por medio del modelo geocelular del Yacimiento Eoceno C-INF VLC-363 y del MEM 1D, con el que se realizó el embebimiento de la malla geomecánica y el poblamiento o modelado 3D de las propiedades mecánicas y esfuerzos utilizando el software Petrel. El análisis de los resultados arrojó que el régimen de esfuerzos es normal para las secuencias del Post-Mioceno, Mioceno y Eoceno. De acuerdo a esto, a nivel del Eoceno, la dirección más favorable para perforar es paralela al esfuerzo horizontal mínimo (67°). El MEM 3D permitió tener una visualización tridimensional de la variación de las propiedades mecánicas, esfuerzos y ventanas operacionales (densidades del lodo requeridas y presiones), lo cual facilitará la optimización de las futuras perforaciones en el área, incluso en zonas que no posean información de geomecánica.

Palabras Clave: esfuerzos, geomecánica, MEM, perforación, modelado

ABSTRACT

The objective of this research is to generate a 3D geometric model in Block III, with specific purposes in future drilling in the field. To do this, the geometrical 1D model was first constructed, following the workflow of the MEM - Mechanical Earth Model, this constate of the information audit that includes the collection of well data, analysis of drilling operational events and identification of lithologies, then the calculation of the mechanical properties, stress of overload, pore pressure, magnitudes and directions of the horizontal stresses and finally, analysis of the speed of work. The results of MEM 1D were visualized in the Drillworks software. The 3D geomechanical model, the geoclimatic model of the Eocene Site C-INF VLC-363 and the MEM 1D, with which the embedding of the geometric mesh and the population or 3D modeling of the mechanical properties and the fields were made, using the software Petrel. The analysis of the results showed that the stress regime is normal for the Post-Miocene, Miocene and Eocene sequences. According to this, an Eocene level, the most favorable direction for shots parallel to the minimum horizontal stress (67°). The 3D MEM has a three-dimensional visualization of the

variation of the mechanical properties, stresses and operational windows, which facilitates the optimization of future perforations in the area, even in areas that do not pose geomechanical information.

Keywords: efforts, geomechanics, MEM, drilling, modeling

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, las principales compañías petroleras a nivel mundial, han tenido que desarrollar tecnologías que permitan disminuir los costos de las operaciones de perforación y producción, causando que la geomecánica se emplee dentro de la industria petrolera, constituyendo una disciplina clave en el estudio de estabilidad de hoyo.

El Yacimiento C-INF VLC-363 se ubica en el Bloque III de la Cuenca de Maracaibo, la explotación de este yacimiento se inició en el año 1960 y es de gran importancia por su alto contenido en reservas, el crudo asociado al yacimiento se encuentra entre 35-46° API, ha sido explotado a través de la completación de 127 pozos, de los cuales en la actualidad permanecen activos 47 pozos.

Sin embargo, dificultades operacionales han evitado su óptimo desarrollo. La perforación en esta área ha sido costosa debido a problemas, tales como: pérdidas de circulación, arremetidas, alargamientos severos del hoyo, derrumbes, las pérdidas de dispositivos en el fondo del hoyo, pegas de la sarta de perforación, entre otros, es por ello que altas densidades del lodo a menudo son requeridas para alcanzar el yacimiento.

Para ayudar a comprender la problemática de perforación, riesgos de producción y problemas asociados, se ha propuesto la construcción de modelos geomecánicos (MEM – Mechanical Earth Model), el cual es una representación de las propiedades mecánicas y esfuerzos en sitio, que presentan los sedimentos y rocas del subsuelo, éste es utilizado para “predecir” su comportamiento a lo largo de la columna geológica, al igual que para caracterizar y minimizar los riesgos vinculados con la exploración consecuente de los campos petroleros.

Tomando en cuenta los aspectos mencionados anteriormente, la presente investigación busca generar un modelo geomecánico 3D aplicado al Campo Bloque III de la Cuenca de Maracaibo, donde los costos de perforación son elevadísimos debido a problemas asociados a la geomecánica. El área de estudio se encuentra ubicada al sureste de la Cuenca del Lago de Maracaibo, al Sur del Bloque III, en los campos Centro y Bachaquero (ver Figura 1), ocupando una extensión aproximada de 20 km de largo por 7 km de ancho para un área total de 140 km² (34.594,75 acres). La columna estratigráfica del Bloque III está conformada por rocas de edad Cretácico, Paleoceno, Eoceno, Mioceno y Post-Mioceno, las cuales se encuentran suprayacente al basamento igneometamórfico de edad Paleozoico [1]. El Yacimiento C-INF VLC-363, se encuentra ubicado estratigráficamente dentro de la Formación Misoa del Eoceno inferior a medio, específicamente en las arenas que se conocen operacionalmente como Miembro C-Inferior. La Formación Misoa se caracteriza por poseer lutitas de composición variable, casi siempre micáceas, arenosas a limolíticas. Igualmente posee areniscas de varios tamaños de grano [1]. Este yacimiento está representado por un entrapamiento combinado del tipo estratigráfico y estructural, limitado al norte por una falla normal denominada informalmente VLC-597, mientras que el resto del yacimiento se encuentra limitado al Sur por la discontinuidad de los cuerpos de arena. La investigación está basada en el estudio de pozos activos e inactivos completados en el Yacimiento C-INF VLC-363 [2].

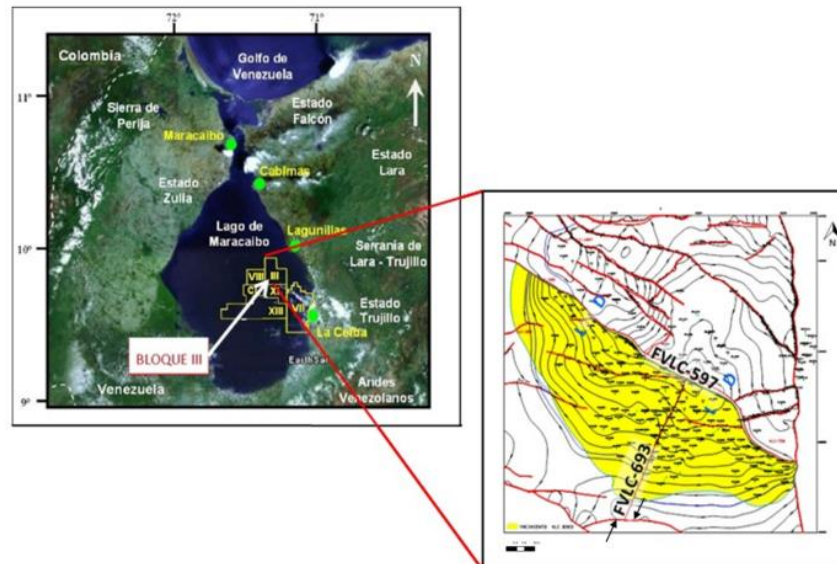
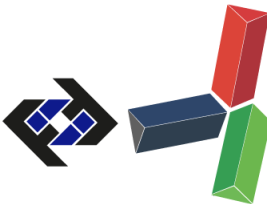


Figura 1. Ubicación del yacimiento VLC-363.

METODOLOGÍA

El objetivo de esta investigación es generar un modelo geomecánico 3D en el yacimiento C-INF VLC-363, Bloque III de la Cuenca de Maracaibo, para la optimización de futuras perforaciones en el área. Para ello, se sigue el flujo de trabajo el cual comprende una serie de actividades continuas, éstas se dividen en cuatro etapas.

Etapas I: auditoría de información

En primer lugar se efectúa la auditoría de datos, con el objetivo de determinar la calidad de los datos disponibles y de esta manera realizar la selección de pozos que representen las formaciones y las condiciones del campo. Posteriormente se analiza la geología regional y local del área de estudio, con la finalidad de identificar las características tectónicas y estructurales principales, y determinar si el área de estudio es tectónicamente activa, lo cual influye sobre la magnitud de los esfuerzos horizontales.

El análisis de los eventos operacionales de perforación permite identificar los principales problemas que afectan el área de estudio, y determinar las profundidades a las cuales se produjeron pegas, pérdidas de circulación, arremetidas o gasificaciones, que permiten calibrar las estimaciones de la presión de poro y el gradiente de colapso (SFG).

La estratigrafía mecánica es de vital importancia, ya que de las litologías identificadas dependerán los modelos de resistencia de la roca y propiedades elásticas que se utilicen, debido a que el comportamiento mecánico de las rocas soportadas por grano y por lodo, tanto siliciclásticas como carbonáticas, son diferentes. Para la identificación y discretización de la estratigrafía mecánica se utilizó el análisis estadístico de registros de pozos (histogramas de frecuencia). Se utilizaron los datos de núcleos y muestras de canal para validar los resultados obtenidos en la discretización de la estratigrafía mecánica.

Etapas II: elaboración del modelo geomecánico 1D

En esta etapa se elabora el modelo geomecánico 1D en los pozos seleccionados del área de estudio, utilizando el software Drillworks [3], de la compañía Halliburton. Este modelo incluye las

propiedades mecánicas, esfuerzo de sobrecarga, presiones de poro, análisis de falla y gradiente de colapso (SFG); y se realiza en base a datos de registros de pozos recopilados en la etapa anterior y ensayos geomecánicos de núcleos, los cuales son cruciales para la estimación del campo de esfuerzos.

Etapas III: construcción de modelo geomecánico 3D

El modelo geomecánico 3D resulta de la integración del modelo geocelular del yacimiento C-INF VLC-363 y los resultados del modelo geomecánico 1D realizado en la etapa anterior. En el presente estudio dicho modelo se integra en una aplicación de modelado y simulación geomecánica 3D, conocida como Petrel Reservoir Geomechanics 2014 [4], de la compañía Schlumberger. Para construir el modelo geomecánico 3D se utiliza como referencia el flujo de trabajo [5].

Etapas IV: análisis del modelo geomecánico 3D

En esta etapa se realiza el análisis del modelo geomecánico 3D construido previamente, con la finalidad de evaluar la variabilidad de las propiedades mecánicas dentro del yacimiento y en los intervalos suprayacentes, para la determinación de la ventana operacional del lodo de perforación y las trayectorias óptimas de perforación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

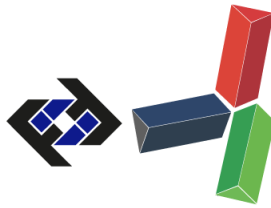
Auditoría de información

Se realizó la auditoría de los datos de perforación, registros y geología para 16 pozos perforados en el Boque III y las áreas vecinas. Se dividieron según la secuencia estratigráfica en datos del Mioceno y Post-Mioceno. Los datos recopilados consisten en registros convencionales, evaluaciones petrofísicas, registros especiales, muestras de roca, ensayos geomecánicos de núcleos, pruebas geomecánicas de campo, datos de perforación y presión.

Para la secuencia del Eoceno existe una mayor cantidad de datos disponibles en comparación con la secuencia del Mioceno y Post-Mioceno, debido a que la mayoría de las pruebas geomecánicas de campo y ensayos geomecánicos de núcleo están limitados solo a las zonas productoras. De esta auditoría de información se seleccionaron los pozos de acuerdo a la información disponible, clasificándolos entre pozos principales que poseen los sets de registros más completos y donde se efectuarían todos los análisis, cálculos del modelo geomecánico 1D y ventana operacional de lodo segura; y pozos secundarios que poseen datos claves, necesarios para efectuar los cálculos en los pozos principales.

En los reportes gráficos de perforación y eventos para los pozos P-1530 y P-1601 se representan las densidades del lodo, avances diarios y eventos relevantes. Los principales eventos fueron arrastres puntuales (40%), repasos (20%), apoyos (15%), altos torques (9%), embolamientos (8%) y pegas parciales (8%). La unidad estratigráfica que presentó mayor frecuencia de problemas operacionales es la Formación Lagunillas correspondiente al Mioceno Medio. Los tiempos de perforación se encuentran entre 30 y 38 días.

El histograma de frecuencia permitió obtener el valor de corte para separar lutitas de areniscas utilizando el registro gamma-ray (GR). Para efectuar la discretización, los valores menores a 75 API en el registro, corresponden a areniscas, mientras que los valores mayores o iguales a 75 API a lutitas. Los resultados de la discretización de litologías para el pozo P-1530. En los intervalos del Mioceno Tardío – Plioceno S/D; Mioceno Medio (Formación Lagunillas), y Mioceno Temprano (Formación La Rosa), de manera general predominan las lutitas (58%), sobre las areniscas (42%),



mientras que en el intervalo del Eoceno (Formación Misoa), predominan las areniscas (58% - 68%), sobre las lutitas (32% - 42%).

Análisis del modelo geomecánico 1D

Los resultados obtenidos se agruparon por secuencias con la finalidad de observar la variabilidad de dichas propiedades a lo largo de la columna del área de estudio. En la secuencia del Mioceno y Post-Mioceno, que incluye los intervalos del Mioceno Tardío – Plioceno S/D; Mioceno Medio (Formación Lagunillas), y Mioceno Temprano (Formación La Rosa), el coeficiente de Poisson (ν), se encuentra en el orden de 0,19 a 0,40. El módulo de Young (E), varía en un rango de 1,39 a 17,80 GPa. La resistencia a la compresión sin confinar (UCS), presenta un rango de 10,41 a 65,62 MPa. Mientras que en la secuencia del Eoceno (Formación Misoa), que incluye los Miembros Eoceno “B” y “C”, para esta secuencia el coeficiente de Poisson (ν), se encuentra en el orden de 0,15 a 0,37. El módulo de Young (E), varía en un rango de 2,55 a 33,63 GPa. La resistencia a la compresión sin confinar (UCS), presenta un rango de 18,95 a 98,73 MPa. Posteriormente se cargaron estos resultados en el software Drillworks, para ser visualizados en forma de perfiles donde se muestra las propiedades mecánicas finales para el pozo P-1530 a lo largo de toda la columna (ver Figura 2).

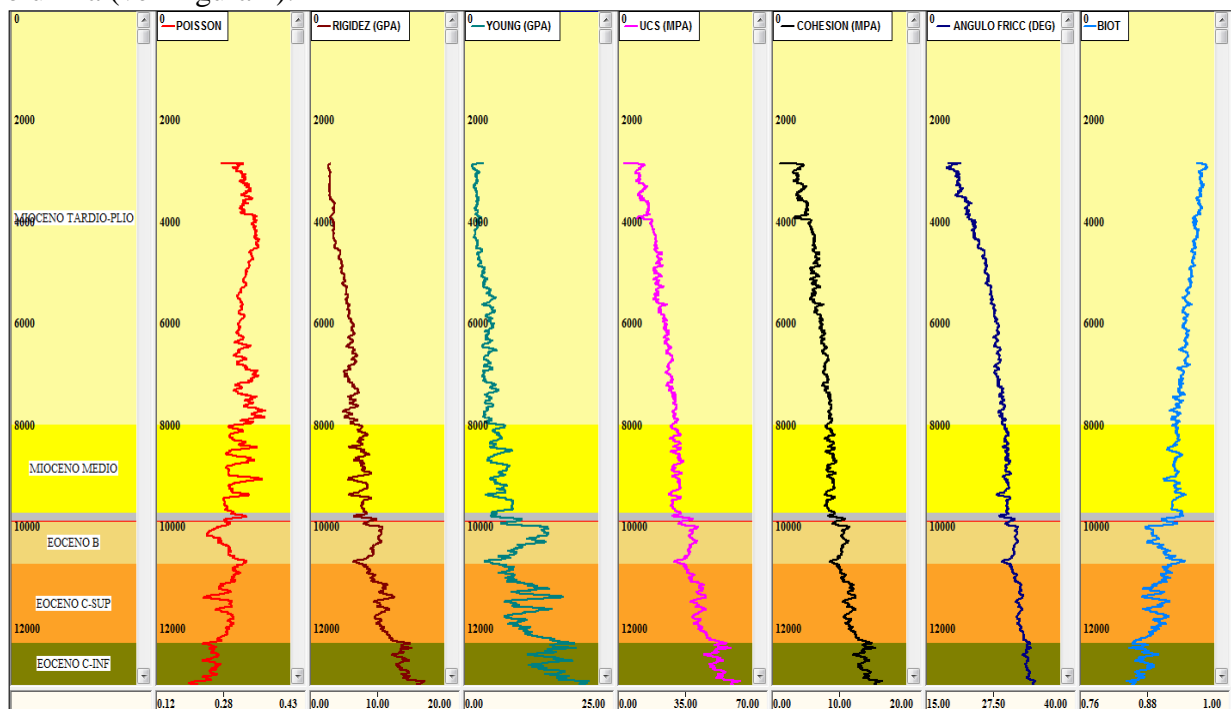
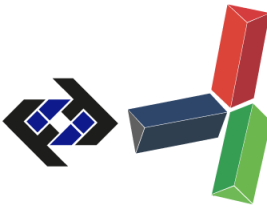


Figura 2. Propiedades mecánicas finales para el pozo P-1530. Las profundidades están expresadas en pies.

Estos resultados permiten afirmar que las propiedades mecánicas finales dependen de la litología, en el caso del módulo de Young (E), y la resistencia a la compresión sin confinar (UCS), las magnitudes más altas se obtuvieron en los intervalos con areniscas mientras que las más bajas en los intervalos lutíticos. El caso contrario ocurre para el coeficiente de Poisson (ν), donde las magnitudes más altas se alcanzaron en los intervalos lutíticos, y los más bajos en los intervalos con areniscas.

En el cálculo de esfuerzo de sobrecarga para el pozo P-1530 se tienen valores de sobrecarga a nivel



del yacimiento en el orden de 97,7 MPa o el equivalente a 19,89 ppg y el gradiente de sobrecarga en el orden de 1,03 psi/ft.

En el perfil de presión de poro para el pozo P-1601 en color rojo (ver Figura 3), existe una tendencia de compactación normal (NCT), hasta la profundidad de 2073 metros o 6800 pies (zona con presión hidrostática) donde empieza una zona de transición en la que va incrementando la presión, hasta alcanzar la zona con sobrepresión donde el valor más alto está en el tope de la Formación La Rosa. Este perfil fue calibrado con los eventos operacionales de perforación donde indican que en la mayoría de la fase de perforación la densidad del lodo utilizada que se aprecia como el perfil de color azul verdoso, es mayor a la presión de poro en color rojo excepto a los 2713 metros o 8900 pies donde es menor, ocurriendo arrastres puntuales que se representan por cuadrados de color morado en el perfil (ver Figura 3).

Del análisis del perfil de presión de poros también se puede observar que para los intervalos Eoceno B y Eoceno C-INF, el perfil de presión de poro está por debajo de la presión hidrostática de formación o presión normal, ya que corresponden a zonas productoras parcialmente depletadas.

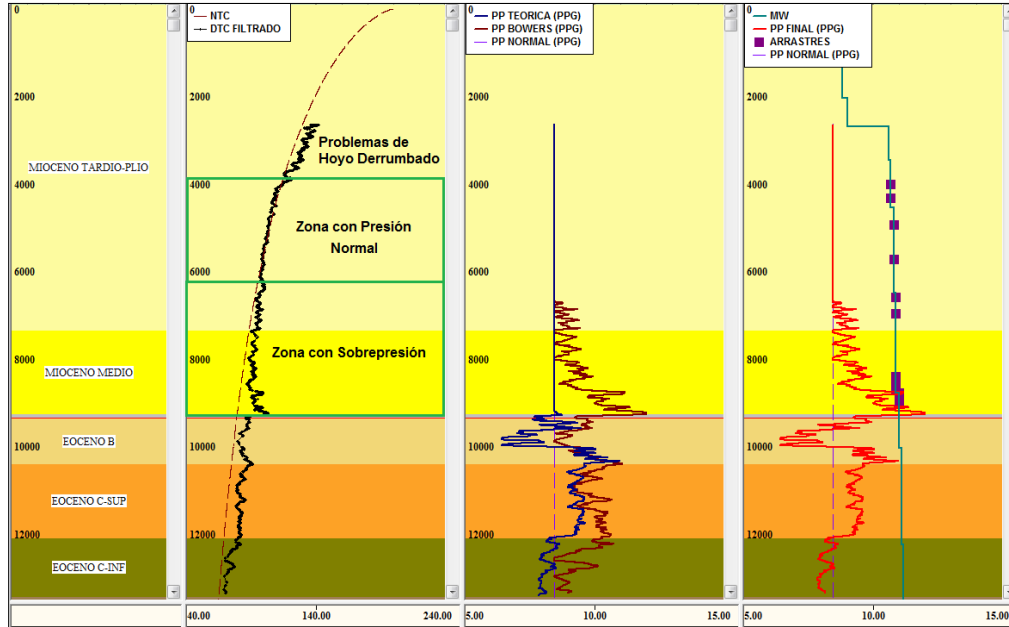


Figura 3. Estimación del perfil de presión de poro del pozo P-1601.

Del estado de esfuerzos in situ para el pozo P-1530 (ver Figura 4), el perfil rojo es la presión de poro, el fucsia: el esfuerzo horizontal mínimo, el negro: el esfuerzo horizontal máximo y el azul: la sobrecarga, en la primera vista la unidades son MPa, en la segunda en unidades de gradiente psi/ft y la tercera en libras por galón o ppg. Los resultados obtenidos evidencian que en el área de estudio, el régimen de esfuerzos es normal o gravitacional ($\sigma_v > \sigma_{Hmax} > \sigma_{Hmin}$), en las secuencias del Post-Mioceno, Mioceno y Eoceno – Formación Misoa.

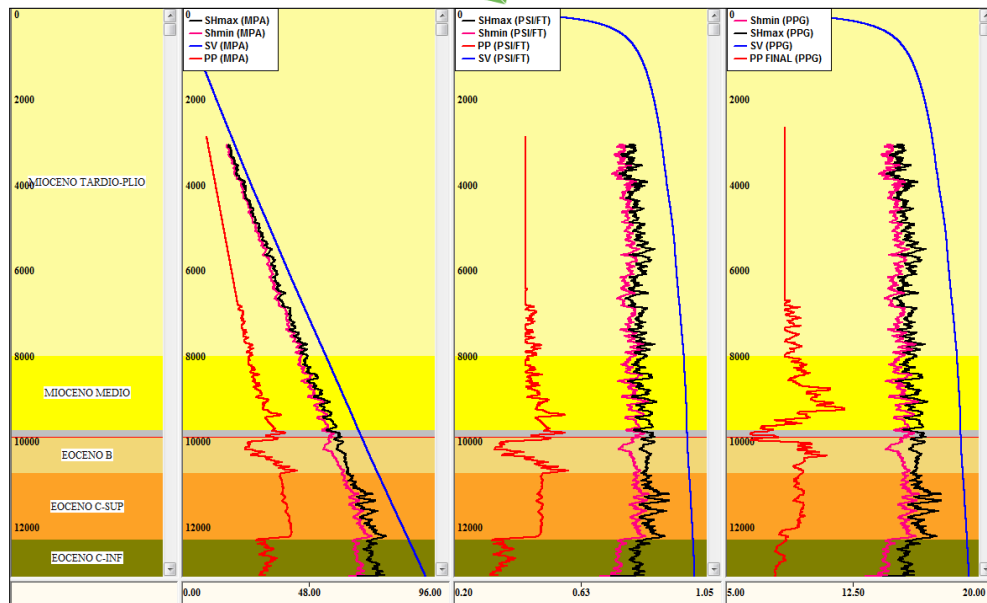


Figura 4. Resultados del estado de esfuerzos en sitio en el pozo P-1530.

El análisis de imágenes para el área de estudio se concentró en los registros de imágenes disponibles de los pozos P-1530 y P-831A. El pozo P-1530 comprende dos intervalos, el primero desde 3007 metros o 9864 pies hasta 3151 metros o 10337 pies y el segundo desde 3725 metros o 12221 pies hasta 4049 metros o 13284 pies. En el primer intervalo se pudieron observar alrededor de 9 metros (30 pies) con breakouts, cuya orientación preferencial de los breakouts de 89° lo que sugiere que el azimut del esfuerzo horizontal máximo (σ_{Hmax}), alrededor de 179° . Ambos resultados de la orientación del esfuerzo horizontal máximo (σ_{Hmax}), son consistentes con la tendencia de la tectónica en el área. La cual indica una orientación regional del esfuerzo horizontal máximo entre N-S a NO-SE. Finalmente la interpretación de los registros de imágenes de la pared del pozo permitieron obtener una dirección promedio del esfuerzo horizontal máximo (σ_{Hmax}), de 157° (337°) y del esfuerzo horizontal mínimo (σ_{hmin}), de 67° (247°).

De los resultados de la estimación del gradiente de presión de colapso (PC) por el criterio de falla lineal de Mohr-Coulomb, se puede interpretar que para la mayoría de los pozos en la secuencia del Mioceno y Post-Mioceno alcanzan magnitudes más altas en el gradiente de presión de colapso, mientras que en la secuencia del Eoceno son más bajas, es decir, que a nivel del yacimiento se requieren menores densidades del lodo de perforación en comparación a las secuencias suprayacentes.

En la Figura 5 se puede observar el gradiente de presión de colapso (SFG) en color aguamarín, el esfuerzo horizontal mínimo en color negro, la presión de poro en rojo, la densidad del lodo en azul, todos ellos en unidades de libras por galón. La ventana operacional del lodo de perforación del pozo P-1601 corresponde al espacio sombreado en gris verdoso (ver Figura 5). Estos resultados indican que las densidades del lodo utilizadas en la perforación estuvieron adecuadas hasta los 2682 metros o 8800 pies de profundidad en la Formación Lagunillas (10,8 ppg), mientras que en la Formación La Rosa las densidades del lodo estuvieron subestimados, es decir, menor que la presión de colapso, llegando incluso a ser menor que la presión de poros, por esta razón se propone un ajuste en la densidad del lodo que muestra como una línea punteada color azul.

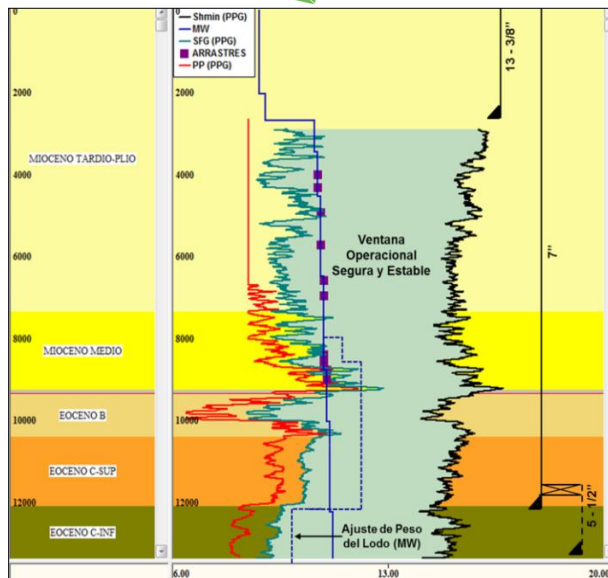


Figura 5. Análisis de la ventana operacional del lodo en el pozo P-1601.

Resultados del modelo geomecánico 3D

En el resultado del embebimiento de la malla del yacimiento (ver Figura 6), se distinguen tres vistas, la superior izquierda corresponde al área embebida en toda la columna, la superior derecha muestra el tope de la Formación La Rosa y la vista inferior al área embebida del Yacimiento C-INF VLC-363 (Formación Misoa).

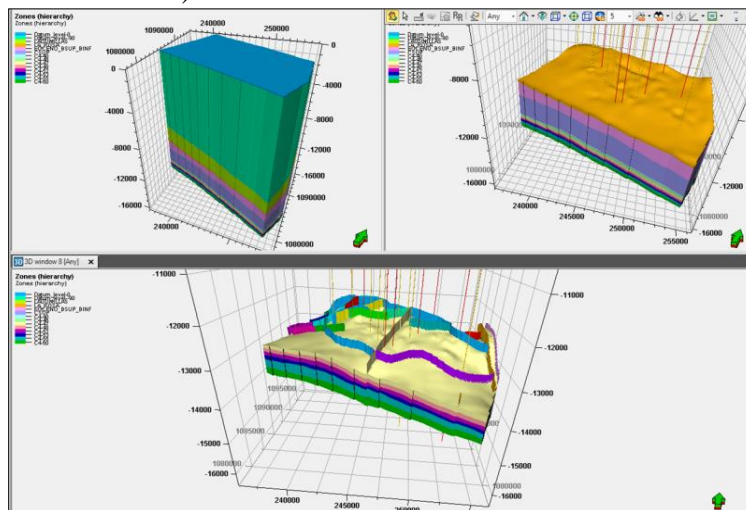


Figura 6. Embebimiento de la malla al yacimiento.

Los resultados de la carga y escalamiento de datos suaves (cubo de velocidades promedio), dentro de la malla geomecánica se muestra en la Figura 7. De igual forma se distinguen tres vistas como en la figura anterior. Nótese la escala de colores asignada al rango de velocidades, los colores fríos están atribuidos a una baja velocidad presentes en las capas superficiales del modelo; y los colores cálidos se asocian a una alta velocidad que se observa en las capas más profundas. Se puede analizar que la tendencia de las velocidades promedio del modelo es aumentar con la profundidad.

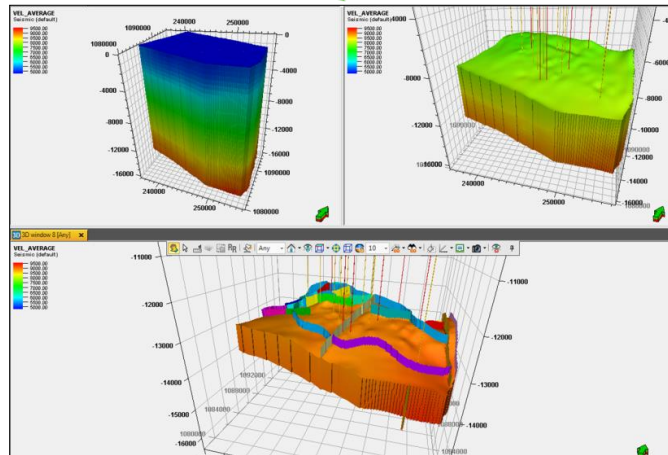


Figura 7. Escalamiento de datos suaves (cubo de velocidades).

Las propiedades fueron pobladas en todo el yacimiento y embebimiento vertical superior (overburden), el resultado de algunas de ellas como la resistencia a la compresión sin confinar se aprecia en la Figura 8. En la escala de colores asignados a los valores de cada propiedad, los colores fríos de la gama de los azules están asociados a valores bajos y los colores cálidos de la gama del rojo a valores más altos. De igual forma fueron asignadas las propiedades de esfuerzos y presión de poro utilizando como dato suave el cubo de velocidades promedio.

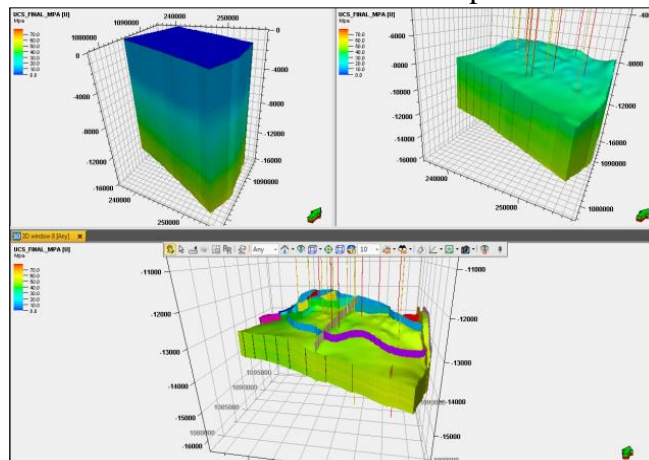


Figura 8. Poblamiento de la resistencia a la compresión sin confinar en MPa.

Análisis del modelo geomecánico 3D

Variabilidad vertical de las propiedades mecánicas: Los resultados de los histogramas de frecuencia se realizaron para analizar la variabilidad que presentan a lo largo de toda la columna algunas de las propiedades mecánicas como el coeficiente de Biot, el coeficiente de Poisson, módulo de Young (E), y resistencia a la compresión sin confinar (UCS). Los histogramas de frecuencia se agruparon según la secuencia en Mioceno y Post-Mioceno donde el coeficiente de Poisson, varía en el orden de 0,25 a 0,42; el módulo de Young (E), entre 1,1 a 13,2 GPa. La resistencia a la compresión sin confinar (UCS), entre 10,4 a 42,9 MPa y el coeficiente de biot, oscila entre 0,89 a 0,98; y la secuencia del Eoceno, el coeficiente de Poisson, varía en el orden de 0,14 a 0,34; el módulo de Young (E), entre 4,4 a 28,9 GPa. La resistencia a la compresión sin confinar (UCS), entre 13,8 a 80,0 MPa y el coeficiente de biot, oscila entre 0,79 a 0,95.

Variabilidad lateral de las propiedades mecánicas y gradiente de presión de colapso: En cuanto a la variación lateral dentro del yacimiento, en el mapa de la resistencia a la compresión sin confinar (UCS) (ver Figura 9), se observa que las magnitudes más altas se encuentran hacia la región Noreste (NE), en la cercanía de la falla VLC-597, indicando que es una zona de mayor resistencia de la roca, en comparación a la región Noroeste (NO), del yacimiento. En el mapa de distribución del coeficiente de Poisson (ver Figura 10), se aprecian las magnitudes más bajas hacia la región noreste (NE), en la cercanía de la falla. El modelado de la presión de colapso (SFG) (ver Figura 11), o densidad del lodo de perforación requerida dentro del intervalo Eoceno C-INF, reveló que no es homogéneo en cuanto a su variación lateral dentro del mismo, indicando que para mantener estabilidad del hoyo es requerida una densidad del lodo mínima de entre 8,4 y 10,1 ppg. Cabe destacar, que hacia la región Noreste (NE), se requieren menos densidades de lodo que hacia las otras regiones del área de estudio, lo que está directamente relacionado con una mayor resistencia de la roca que se observa en los mapas de las otras propiedades analizadas.

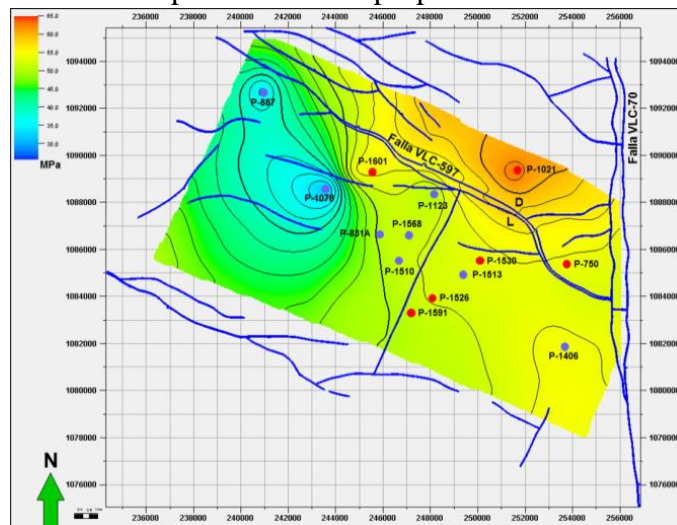


Figura 9. Mapa de distribución del UCS dentro del yacimiento.

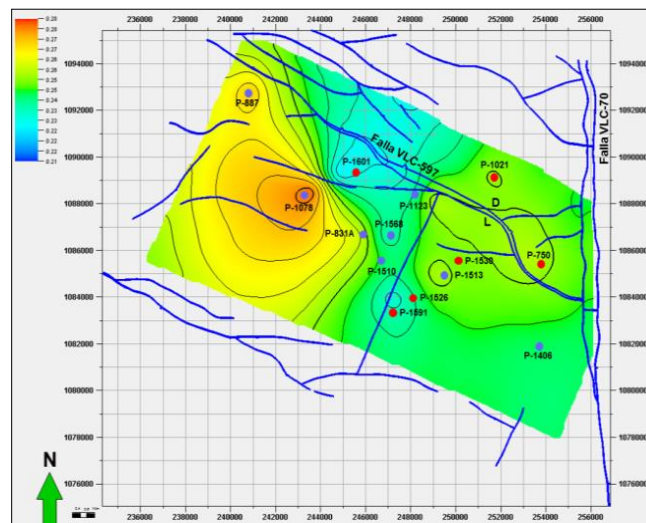


Figura 10. Mapa de distribución del coeficiente de Poisson dentro del yacimiento.

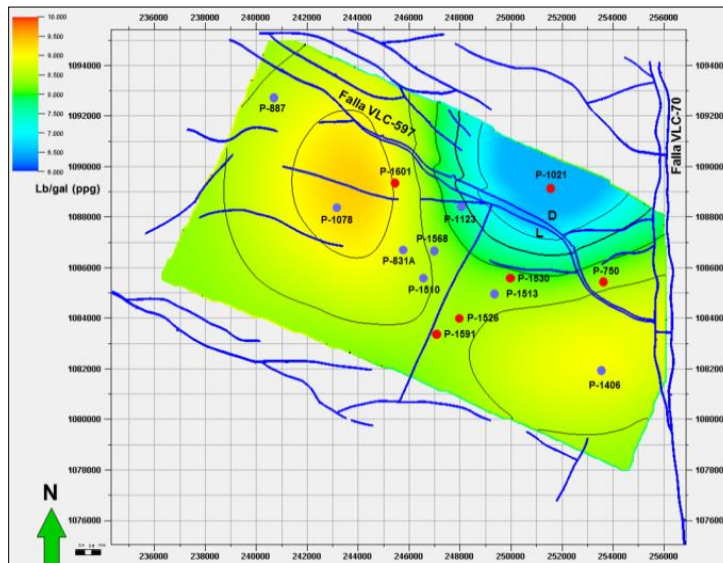


Figura 11. Mapa de distribución de la presión de colapso dentro del yacimiento.

Trayectorias óptimas de perforación: Las sensibilidades a la inclinación con respecto a la densidad del lodo de perforación en el pozo P-1601, para una apertura de breakouts de 45° (ver Figura 12), para una profundidad de 1524 metros o 5000 pies en el intervalo Mioceno Tardío - Plioceno S/D; 2865 metros o 9400 pies en el intervalo Mioceno Temprano (Formación La Rosa), y 3871 metros o 12700 pies en el intervalo Eoceno (Formación Misoa), Miembros Eoceno "B" y "C". Según este análisis la dirección más estable de perforación para los dos ángulos de breakouts seleccionados es la del esfuerzo horizontal mínimo (67°), debido que el régimen de esfuerzos en las secuencias del Post-Mioceno, Mioceno y Eoceno es el normal ($\sigma_v > \sigma_{Hmax} > \sigma_{hmin}$).

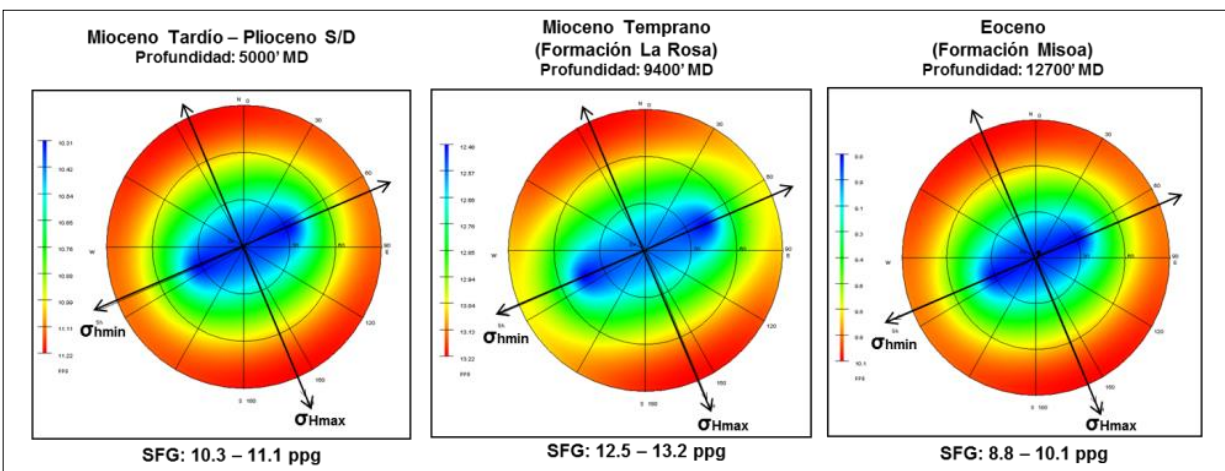


Figura 12. Sensibilidad en inclinación y densidad del lodo utilizado en el Pozo P-1601.

CONCLUSIONES

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación. Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
 Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
 Telf.: +58 212-605 1644| <http://www.ing.ucv.ve>

Colocar las conclusiones del trabajo en formato de párrafos. Evitar conclusiones largas y el uso de viñetas. Se elaboró el modelo geomecánico 1D, a partir del cual se estimaron los perfiles de esfuerzo vertical de sobrecarga, presiones de poro, propiedades mecánicas, esfuerzos horizontales máximo y mínimo, presión de colapso y gradiente de fractura para 6 pozos principales en el área de estudio. En cuanto a los parámetros elásticos se encontró que el comportamiento de los mismos es coherente, y obedece a las variaciones estratigráficas de cada secuencia. En el área de estudio, el régimen de esfuerzos es normal o gravitacional ($\sigma_v > \sigma_{Hmax} > \sigma_{Hmin}$), para las secuencias del Post-Mioceno, Mioceno y Eoceno – Formación Misoa, es por ello que la dirección más favorable para perforar y donde se presentan los menores esfuerzos diferenciales es paralela al esfuerzo horizontal mínimo.

Se elaboró el modelo geomecánico 3D, a partir de la integración del modelo geomecánico 1D, con los datos geológicos, geofísicos, petrofísicos y de ingeniería de yacimientos. Este modelo permitió tener una visualización tridimensional de la variación de las propiedades mecánicas, esfuerzos y ventanas operacionales (densidades del lodo requeridas y presiones de fractura), lo cual facilitará la optimización de las futuras perforaciones en el área, incluso en zonas en donde no se tenga información de geomecánica.

REFERENCIAS

- [1] Comisión Venezolana de Estratigrafía y Terminología (CVET). (1997) Léxico Estratigráfico de Venezuela, 3era ed., Caracas: Ministerio de Energía y Minas. Bol. Geo. Pub. Especial N°12, p. 539
- [2] Bustamante, G. (2015) Informe Técnico: Plan de explotación proyecto Eoceno C-Inferior VLC-0363, Estudios Integrados de Yacimientos, PDVSA E&P, División Occidente, Tamare
- [3] Halliburton, Landmark Software & Services. Drillworks [Software]. Recuperado de <https://www.landmark.solutions/Drillworks-Geomechanics>
- [4] Schlumberger. Petrel Reservoir Geomechanics 2014 [Software]. Recuperado de <https://www.slb.com/petrel>
- [5] Lobo, C.; Sánchez, E. y Campos, A. (2016) Manual para la elaboración de modelos geomecánicos. Estudios Integrados de Yacimientos, PDVSA E&P, División Occidente, Maracaibo