

INESTABILIDAD DE POZO: MANEJO DE DESAFÍOS ASOCIADOS A UNA BAJA CANTIDAD DE DATOS DISPONIBLES

Thiago Pessoa¹, Daniel Breuer², Daniel Montero², Rogelio Luperne², Martin Paris¹

1: BHGE, thiago.pessoa2@bhge.com, martin.paris@bhge.com

2: ENAP, danielbreuer2017@gmail.com, daniel.montero@enap.com.ar, rogelio.luperne@enap.com.ar

Palabras clave: matriz de riesgo, pozos dirigidos de largo alcance, cuenca Austral

ABSTRACT

Borehole Stability: Managing Challenges Associated with a Low Amount of Available Data.

According to world statistics, it is estimated that NPTs (non-productive times) represent 15% of the drilling times of oil and gas companies. Nowadays, drilling has become more complex as horizontal and extended reach wells react differently to stresses compared to vertical and / or low angle wells. Also, numerous geological factors can complicate the drilling leading to expensive sidetracking or casing operations. The amount of wellbore instability can be predicted as function of stresses, pore pressure, well trajectory and rock properties using a geomechanical model. The confidence of the geomechanical model is related to the available data and the events encountered during drilling from offset wells, whose causes can be recognized, allowing drillers to mitigate their effects with minimal disruption of the drilling program.

This paper presents a methodology for a real situation of low availability of data, starting from a quality control of the data, through an evaluation of the uncertainties associated and determining how to integrate the operational procedures to understand the wellbore behavior. A case from Estrecho de Magallanes will be presented where a Post-Morten analysis was performed to understand the instability problems reported on Palermo Aike formation. A risk map is described, which turns out to be key in determining the necessary data for the next wells, in order to reduce/mitigate risks during drilling. Additionally, an integration is made with seismic data, drilling data, operational procedures, log data, calibration data (LOT, MDT, etc) and a detailed caving analysis were performed to understand the wellbore failure type which could assist on operational procedures used during drilling.

Results shows that multiple failure modes were observed from a mass of cavings, but hole cleaning and fluid penetration also played an important role on the wellbore stability. The lack of data reduced the confidence of some analyzes performed and in virtue of this, a recommendation is described and suggestions regarding on how to manage these lack of data is presented.

INTRODUCCIÓN

Cuando se opera en áreas con pozos perforados en el pasado, la falta de información y/o falta de disponibilidad de datos es un problema común que enfrentan muchas operadoras.

En este contexto, el análisis geomecánico deben enfocarse en los datos disponibles (informes

diarios de perforación de pozos cercanos junto con los procedimientos operativos, parámetros de perforación y análisis de *cavings*, entre otros). Los resultados de este análisis permiten elaborar una metodología operacional destinada a prevenir, detectar, analizar y mitigar los riesgos geomecánicos asociados a la perforación para los pozos propuestos, a través de un mapa de riesgos.

A su vez, debe elaborarse un plan de captura de información, destinado a captar la información crítica a ser relevada en futuros pozos, en base a los riesgos e incertidumbres identificadas.

Marco geológico

La zona del presente estudio se halla dentro del área Faro Vírgenes, ubicada en el extremo sureste de la provincia de Santa Cruz, dentro de la Cuenca Austral, extendiéndose tanto en el continente como en el mar (Fig. 1).

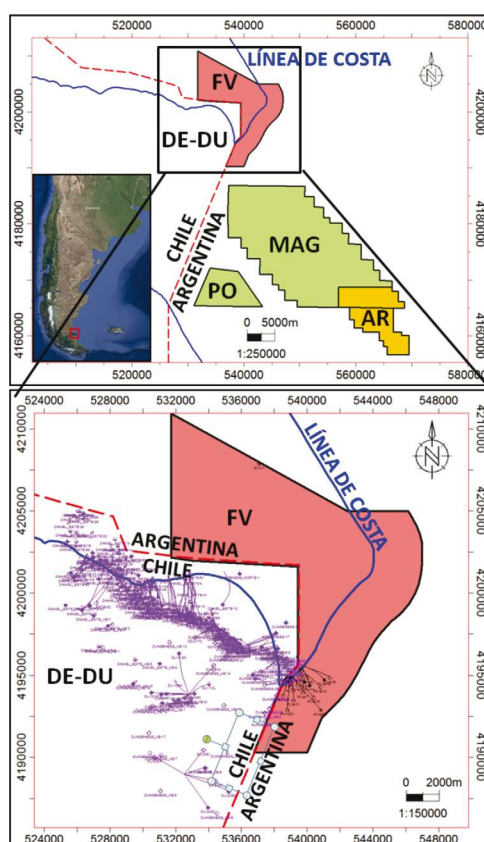


Figura 1. Mapa de Ubicación Yacimiento Faro Vírgenes (FV: Faro Vírgenes, DE-DU: Daniel Este – Dungeness, PO: Poseidón, MAG: Magallanes, AR: Aries)

Este yacimiento se desarrolló mediante la perforación de 15 pozos dirigidos desde la costa hacia el *offshore* y un pozo vertical *onshore*, con el objetivo de drenar el petróleo y gas alojados en la Formación Springhill.

El yacimiento Faro Vírgenes constituye, en territorio argentino, el extremo sudeste de un gran

alto estructural desarrollado principalmente en Chile. Los yacimientos Daniel Este y Dungeness, en el lado chileno, integran junto con Faro Vírgenes la gran estructura denominada Complejo Dungeness.

La estructura principal corresponde a un gran anticlinal de rumbo NO-SE, de 18 km largo por 4 km en de ancho en el extremo noroeste y 10 km de ancho en el sector sureste.

La cúspide de esta estructura, desarrollada durante el Jurásico, constituye un paleoalto donde no hubo depositación de la Formación Springhill y se constatan los depósitos de la Formación Palermo Aike en discordancia sobre el basamento metamórfico.

Una serie de fallas directas con sus respectivas antitéticas se disponen rodeando al paleoalto de Dungeness, con los bloques bajos hacia el sector externo de este alto. El sector donde se desarrolla el yacimiento Faro Vírgenes presenta dos conjuntos de fallas directas de rumbo NE-SO y NO-SE que generan una compartimentalización local dentro del reservorio.

Ubicado sobre el flanco este de Faro Vírgenes se desarrolla un alto relativo, que llega a cotas similares a las del alto de Dungeness (Figura 2). Este alto es interpretado como una estructura por inversión tectónica ocurrida en el Cretácico medio, por lo cual se habría depositado la Formación Springhill sobre lo que anteriormente era un bajo relativo. Esta estructura, denominada Alto Oriental de Faro Vírgenes, fue el objetivo de la propuesta de pozo de largo alcance, motivo del presente trabajo. Este alto relativo presenta pendientes pronunciadas en los flancos norte y este, en tanto que hacia el sudoeste la pendiente es más suave, en dirección al alto de Dungeness.

La estratigrafía de la zona de estudio se encuentra representada de base a techo por un basamento cristalino, sobre el que se suceden la Serie Tobífera, las formaciones Springhill, Palermo Aike, Magallanes y Santa Cruz (Figura 3).

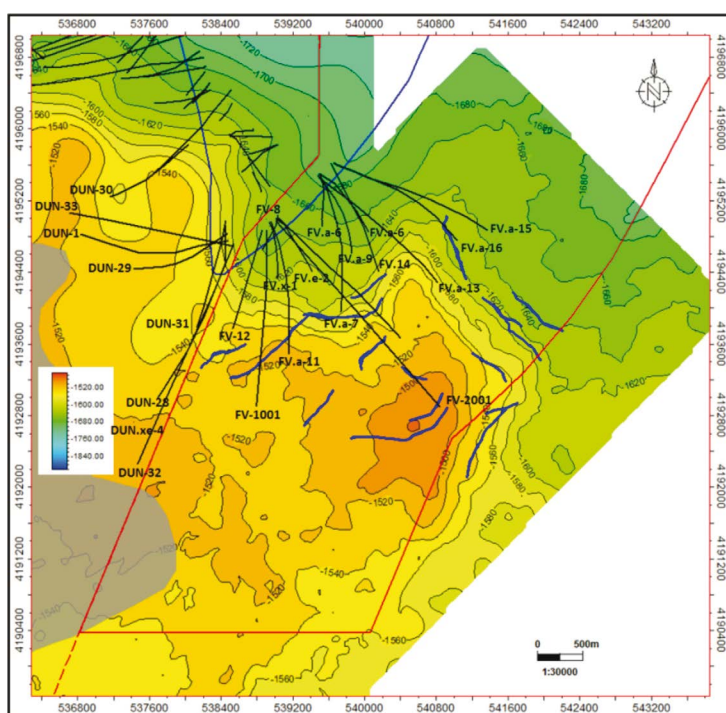


Figura 2. Tope Springhill con ubicación de los pozos de Faro Vírgenes.

El basamento cristalino no fue atravesado por los pozos de Faro Vírgenes, pero si por los de Daniel Este - Dungeness (Otzen Martinic, 1999). Está constituido por gneiss, esquistos y rocas graníticas con edades que van del Paleozoico Superior al Jurásico Superior.

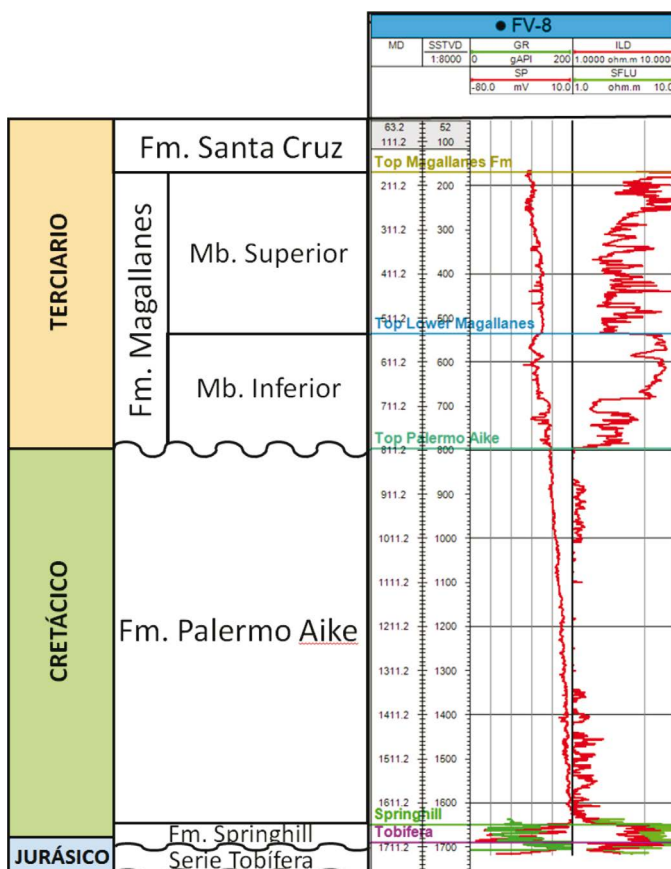


Figura 3. Columna estratigráfica en el Yacimiento Faro Vírgenes, Pozo FV-8 de referencia

La Serie Tobífera está compuesta por tobas, areniscas tobáceas y areniscas. Estos depósitos se generaron durante la etapa de *sinrift* de la Cuenca Austral, durante la que desarrolló un vulcanismo ácido que rellenó los hemigrábenes desarrollados en la etapa de rifting inicial (Peroni *et. al*, 2002). Estos depósitos tienen una edad Jurásico Medio a Superior. La Formación Springhill, desarrollada durante la etapa de sagging de la cuenca, presenta un arreglo transgresivo, tiene un espesor variable entre (Arbe y Fernandez Bell Fano, 2002; Schwarz *et al.*, 2010) y está dividida en dos miembros dentro del área de estudio, un miembro basal de origen continental y un miembro superior de origen marino. Tiene un espesor variable entre 20 y 50 metros dentro de la zona del yacimiento, aumentando su espesor hacia el norte y noreste. Estos miembros corresponden a las secuencias Hydra y Argo respectivamente, así definidas en los yacimientos offshore de la cuenca de edad Jurásico Superior a Cretácico Inferior (Arbe y Fernández Bell Fano, 2002). El miembro continental

de la Formación Springhill constituye el principal reservorio del yacimiento Faro Vírgenes y fue el objetivo del pozo propuesto. Está conformada por barras y rellenos de canales, litológicamente corresponde a areniscas cuarcíferas de grano fino a grueso con intercalaciones de arcilitas. Se evidencia una variación del patrón de apilamiento y desarrollo de estos cuerpos, producto de cambios en el espacio de acomodación y posición respecto al paleoalto de Dungeness. Un nivel de arcilitas, interpretado como una superficie de máxima inundación (MFS) marca la transgresión marina, separando ambos miembros. Esta MFS se puede seguir tanto en los yacimientos Daniel Este - Dungeness como en Faro Vírgenes. El miembro marino está conformado por arcilitas marinas de plataforma y areniscas glauconíticas de plataforma.

Estos depósitos son cubiertos por sedimentitas de plataforma externa de la Formación Palermo Aike que se desarrolla de Cretácico Inferior al Cretácico Superior, constituida por arcilitas y limolitas grises a verdosas ricas en materia orgánica y con contenido fosilífero, que intercalan con niveles de mayor contenido calcáreo hasta calizas. Esta unidad tiene un espesor entre 700 y 850 metros en el área Faro Vírgenes. Sobre esta unidad se desarrolla una importante discordancia regional, de carácter localmente erosivo, que corresponde al techo de la Formación Palermo Aike (techo de la Formación Lutitas Arenosas en la estratigrafía de subsuelo de Chile).

Sobre esta discordancia se depositan las sedimentitas de la Formación Magallanes (Paleoceno a Mioceno Medio). El miembro inferior está compuesto por areniscas medias, areniscas arcillosas y pelitas, con intervalos con abundante glauconita, y presenta un espesor de 260 metros. El miembro superior está constituido por areniscas finas a medias con intercalaciones de limolitas y arcilitas, con abundante glauconita y consta de 360 metros de espesor. Se interpretan como depósitos de plataforma. Posteriormente se produce una regresión y se depositan los sedimentos continentales de la Formación Santa Cruz de edad Miocena Media, conformada por areniscas, areniscas tobáceas, tobas y escasos conglomerados.

Desafíos del Proyecto

El presente trabajo se enmarca dentro del análisis multidisciplinario ejecutado para la perforación de uno o más pozos de largo alcance dentro del yacimiento Faro Vírgenes, con el objetivo de aumentar la producción de gas y sus reservas asociadas. En primera instancia se realizó un estudio integrado de reservorios, un modelo estático y un modelado dinámico. En función de los resultados del estudio, se identificaron zonas de interés para la ubicación de nuevos pozos de desarrollo. En virtud de las características del emplazamiento geográfico del yacimiento, estas locaciones potenciales implicaron el diseño de pozos dirigidos de largo alcance, a perforar desde la costa, con desplazamientos horizontales de 2800 a 3000 m.

Uno de los escenarios seleccionados para el análisis más profundo, tiene como objetivo drenar la misma estructura a la que se intentó alcanzar con el pozo de largo alcance perforado en el año

2012 (FV-2001), ejecutado por otra operadora. Este pozo encontró serios problemas mecánicos ocurridos durante la mayor parte de la perforación de la fase de 12 1/4", quedando la herramienta aprisionada en las maniobras de sacada luego de llegar al tope de la Formación Springhill.

En función de esta problemática, evidenciada también en la perforación de varios pozos, tanto de Faro Vírgenes como de los yacimientos chilenos del Complejo Dungeness, se decidió realizar un estudio geomecánico de detalle, motivo del presente artículo. El estudio de geomecánica se basó especialmente en el análisis *post-mortem* del pozo perforado en el año 2012, así como de la perforación de los pozos vecinos. En la revisión de la historia de perforación de dichos pozos vecinos, se identificaron numerosos NPTs que se incrementaban al aumentar la inclinación del pozo, algunos graves como reiterados *side-tracks*, llegando incluso al abandono del pozo, con importantes pérdidas en tiempo y económicas. En este estudio se analiza si las fallas mecánicas son debidas a dificultades propias de la geología de la zona, a la complejidad de los pozos ejecutados o si se produjeron por errores en el diseño o la propia ejecución de esos pozos.

Los resultados de este trabajo permitieron elaborar una metodología operacional destinada a prevenir, detectar, analizar y mitigar los riesgos geomecánicos asociados a la perforación para los pozos propuestos.

Análisis Geomecánico

Un modelo geomecánico está típicamente constituido por cinco parámetros: presión de poro, sobrecarga (esfuerzo vertical), esfuerzos horizontales (máximo y mínimo) y las propiedades mecánicas de la roca. Los datos requeridos para construir este modelo incluyen un amplio conjunto de mediciones. El análisis de estos datos de fuentes tan dispares es utilizado para crear un modelo que debe ser consistente con los esfuerzos que actúan sobre la roca y con la capacidad de la roca para resistir estos esfuerzos.

Una herramienta valiosa para calibrar el modelo geomecánico es la evaluación detallada de los reportes diarios de pozo (experiencia de perforación - informes diarios de perforación) de los pozos tomados como referencia para la calibración del modelo (pozos *offset*). Esta revisión toma en consideración toda la información del pozo perforado, como datos de superficie, presiones de formación medidas, datos de perforación e informes. Cuantos más datos estén disponibles y menos suposiciones deban realizarse, habrá más posibilidades de que el modelo geomecánico sea cierto.

Adicionalmente, recortes/derrumbes pueden proveer una medida continua y cercana al tiempo real para la toma de decisiones basada en la geomecánica. Una probable desventaja de esta fuente de información es que es susceptible a ser alterada por procesos ocurridos durante la perforación, tales como interacciones con el fluido de perforación y con el trepano (Horsrud, 2001).

Para calibrar correctamente el modelo geomecánico con eventos observados en los pozos *offset*, es necesario utilizar las propiedades mecánicas de roca apropiadas, además de los esfuerzos *in situ*. En este momento, ensayos mecánicos de laboratorio puede agregar un gran valor para calcular la resistencia de la roca, ya que correlaciones específicas para el campo pueden ser utilizados en conjunto de datos de *Logging While Drilling* (LWD) y/o registros de cable (por ejemplo, acústico, resistividad, neutrón, rayos Gamma y perfil de densidad) para crear un perfil continuo de propiedad de roca para el modelo geomecánico.

Caso de Estudio

El área de estudio se ubica en el Estrecho de Magallanes donde se realizó un análisis post-mortem para conocer el problema de inestabilidades reportado durante la perforación de la formación Palermo Aike. Esta formación había sido perforada con una inclinación de 75° presentando problemas de estabilidad de pozo durante la perforación.

El modelo geomecánico fue construido a partir de datos de pozos de *offset* y en base a la experiencia regional. Se contó con datos escasos de LWD (solo un registro de resistividad y GR), velocidades intervállicas a partir de la sísmica, geología estructural, imágenes de cavings y parámetros de perforación (ROP, ECD, vibración, torque, presión durante la perforación, etc.). Se realizaron análisis de estabilidad de pozo que incluyeron, estabilidad mecánica, reacciones químicas, invasión de lodo en lutitas fracturada, estratificación con planos de debilidad, anisotropía de esfuerzos y peso de lodo inadecuado.

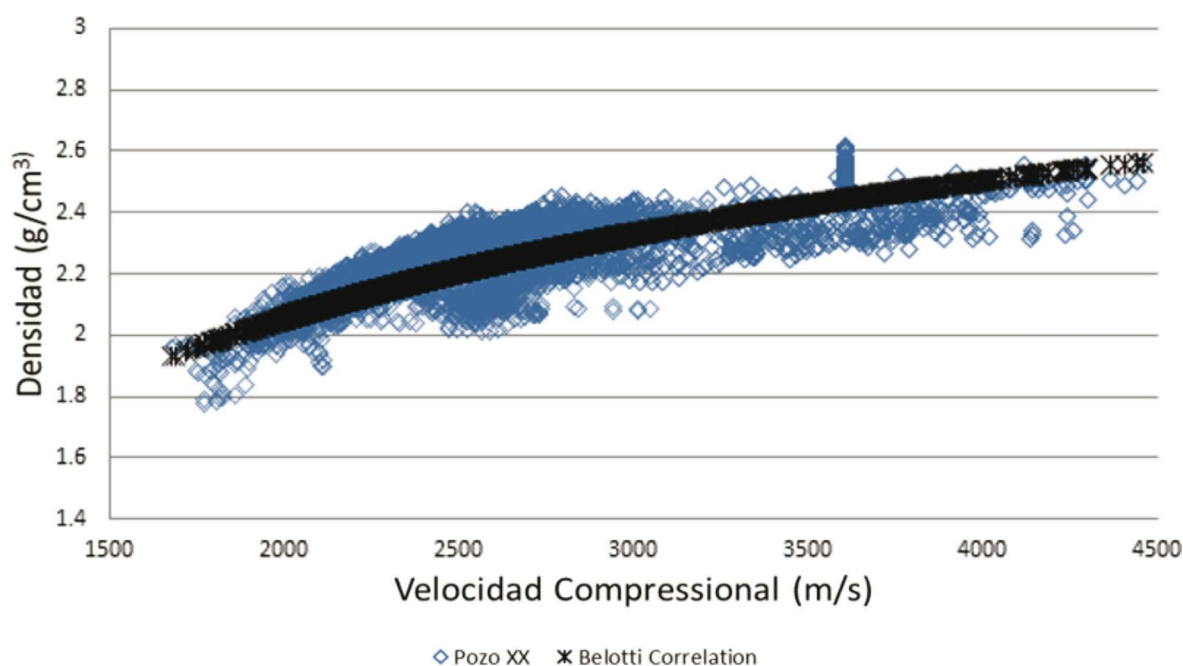


Figura 4. Correlación densidad vs velocidad de la onda acústica utilizada para el pozo estudiado (azul), utilizando la ecuación de Belloti (negro).

En el modelo se definieron las componentes principales del esfuerzo *in-situ*. Se calculó el gradiente de esfuerzo vertical, haciendo una integración del peso de la columna litológica hasta la superficie, basado en la densidad de capas de roca. Dado que no se disponía de ningún registro de densidad, se calculó una pseudo densidad utilizando datos de velocidad de ondas p. Este perfil de pseudo densidad se integró hasta superficie, generando el perfil de sobrecarga. En este caso, la ecuación de Belloti (Fig. 4) fue la que presentó un mejor ajuste para la estimación de la pseudo densidad.

Se infiere que la subcompactación es el principal mecanismo de presión de poro. Por lo tanto, las estimaciones de presión de poro se basaron en datos acústicos y de resistividad aplicando el método Eaton y utilizando el GR como discriminador de arcillas. Los gradientes de presión poral calculados con ambos métodos muestran valores consistentes.

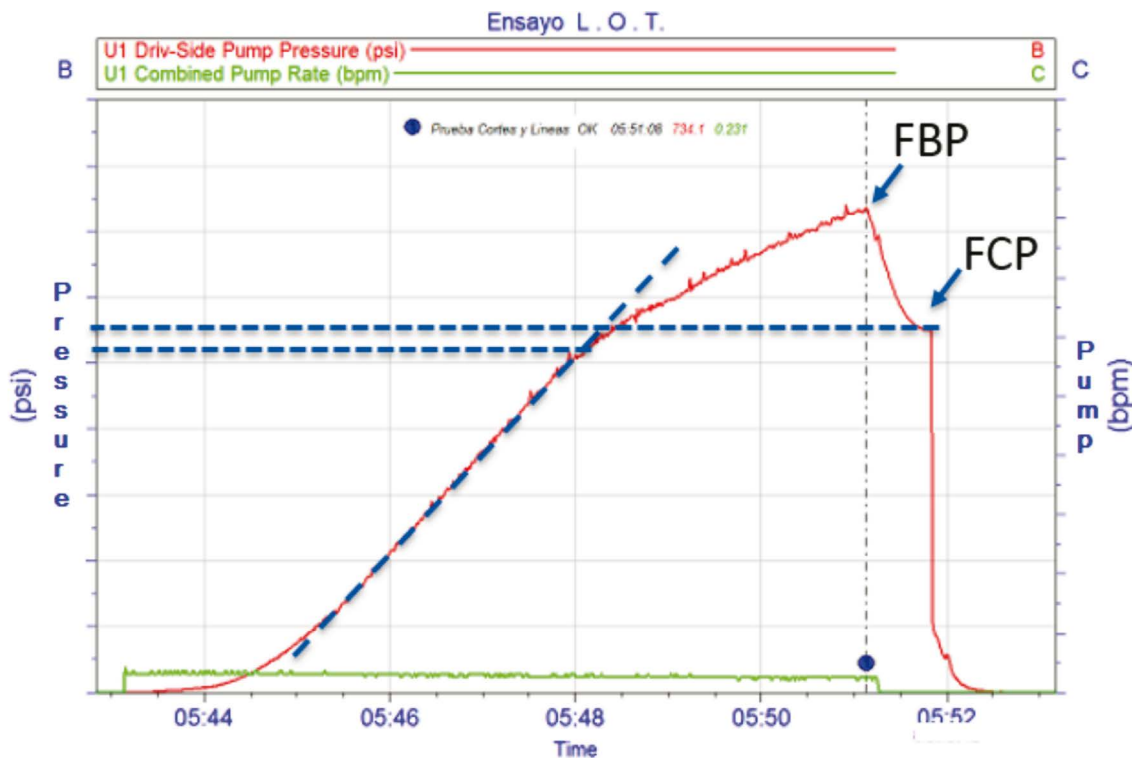
Se observa un gradiente normal (hidrostático) de presión poral, a excepción de las arcillas de la formación Palermo Aike, la cual muestra indicios de sobrepresión. En el reservorio, constituido por la Formación Sprinhill, la presión de poro se calibró con mediciones directas de presión de formación y con el análisis de eventos relacionados.

El gradiente de fractura es determinado a partir de las magnitudes de la sobrecarga, la presión poral, las propiedades mecánicas de la roca y las suposiciones realizadas sobre el esfuerzo *in situ* (Eaton, 1969). Este gradiente se calcula usando una aproximación basada en la relación de esfuerzos efectivos (Effective Stress Ratio – ESR) - (Zoback, 2012) - calibrado con resultados de las pruebas leak-off y eventos de pérdidas de circulación observados durante la perforación (Fig. 5). Esta información servirá también para calibrar la densidad equivalente de circulación (ECD) y la presión mientras se perfora (PWD). Estos resultados puntuales, son extrapolados a lo largo de toda la profundidad del pozo para crear el perfil de Shmin que puede utilizarse como un estimado conservador del gradiente de fractura. La presión de cierre de fractura (FPC), es por lo general un 10% mayor que el punto de *leak off*.

El modelo presenta incertidumbres asociadas con la orientación y magnitud de SHmax ya que no se contaba con información de registros de imagen ni de cáliper orientado. El SHmax puede ser estimado a partir del ancho de *breakouts* y o de la existencia de fracturas de tracción observados en el registro de imágenes o en cáliper orientados. Adicionalmente, la orientación de las fracturas naturales puede definirse a partir del registro de imágenes para determinar el mejor ángulo de ataque.

Para minimizar estas incertidumbres, los procedimientos operativos, PWD, los análisis de la composición del lodo, la morfología de los cavings (derrumbes), los eventos geomecánicos y la experiencia regional hecha en campos cercanos fueron parte del análisis. Toda esta información en conjunto contribuye al entendimiento sobre lo que realmente está sucediendo con el pozo.

Palermo Aike es bien conocida como una formación de lutítica muy fracturada (Fontana, 2007). Para perforar esta formación, se usó lodo base agua (WBM) con aditivos inhibidores.



$ESR_{S_{hmin}}$ = Effective stress ratio

S_v = Vertical stress

S_{hmin} = Minimum horizontal stress

P_p = Pore pressure

$$ESR_{S_{hmin}} = \frac{(S_{hmin} - P_p)}{(S_v - P_p)}$$

Figure 5. Carta de ensayo de LOT y ecuación para la estimación del gradiente de fractura.

Durante la perforación de Palermo Aike el ROP aumentó al igual que el ECD (Fig. 6) a medida que aumentó la inclinación del pozo. Se observaron picos de ECD, agujero apretado (*tight holes*) y *pack-offs*, los cuales fueron reportados durante las operaciones de viaje de la sarta. Incluso después de la limpieza del pozo, la tendencia del ECD continuó incrementando (Fig. 7).

Se reportaron *cavings* (derrumbes) tipo bloque y tabular (Fig. 8) en la parte superior de Palermo Aike, lo cual es un indicio de la existencia de unos niveles de estratificación débiles o fisiles, susceptible a la penetración del lodo en las interfaces entre estratos; en la cual se observa un incremento del volumen de *cavings* y una presión de colapso más elevada.

Se observaron también diferencias entre la resistividad somera y la profunda que podrían indicar una invasión de lodo en esta zona, con posibles problemas de inestabilidad química. Para controlar el problema de inestabilidad de esta formación, el operador aumentó el peso de lodo y acondicionó las propiedades de lodo. Sin embargo, el aumento del ECD produjo una mayor diferencia entre las resistividades somera y profunda, indicando una mayor penetración del lodo en la formación. Se observó que el ECD aumentaba incluso cuando se circula para limpiar el pozo,

y solo cuando se controlaba la ROP, se observaban reducciones del ECD. Consecuentemente, se observaron varios episodios de pozo apretado (*tight spots*) durante las maniobras de viaje que fueron reportados y fueron más intensos durante bajada de tubería (*run in hole* - RIH).

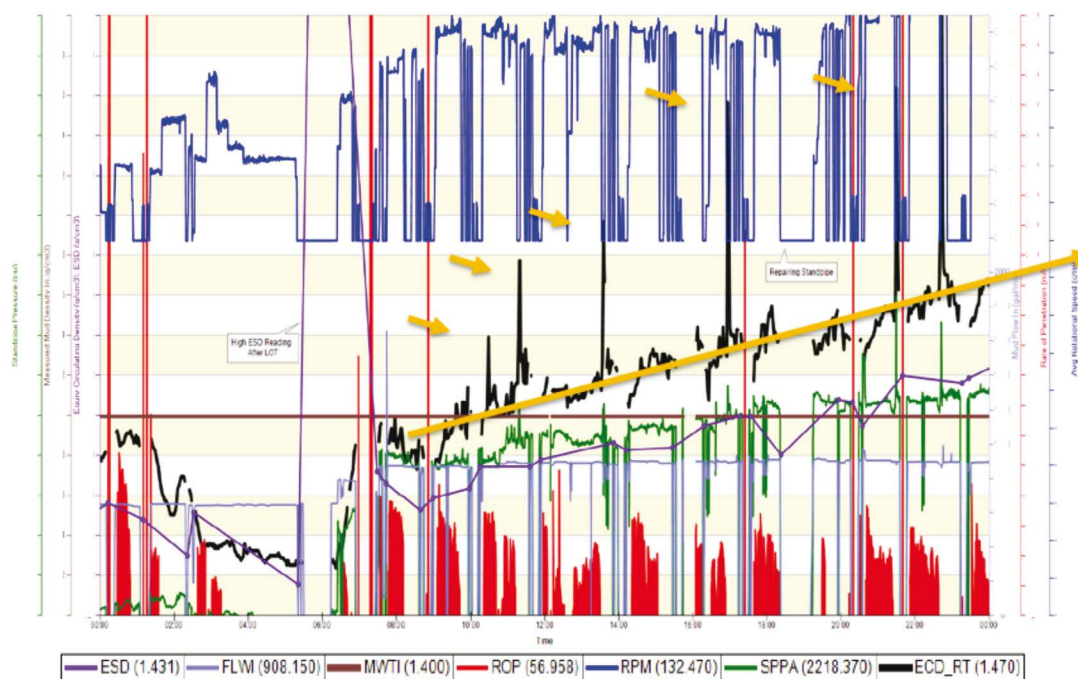


Figura 6. Parámetros operacionales durante la perforación. Tendencia creciente del ECD (curva negra) cuando se inició la perforación y los picos de ECD observados.

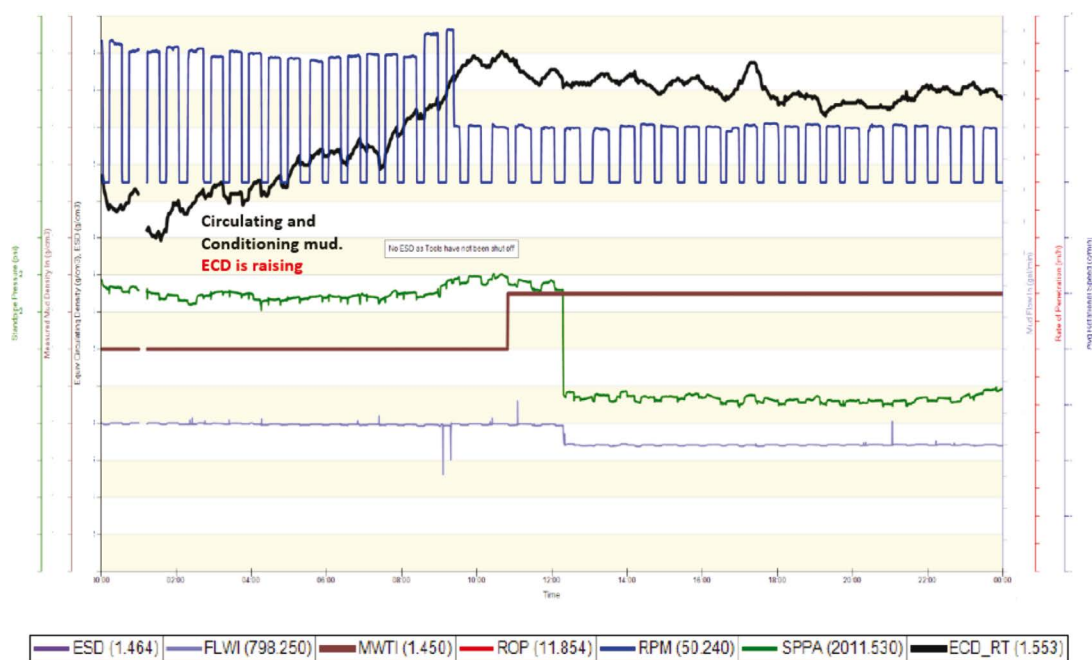


Figura 7. Circulación para acondicionar las propiedades del lodo, pero el ECD continúa aumentando para el peso y el flujo del lodo utilizados.



Figura 8. Morfología de bloque (izquierda) y tabular (derecha).

Después de aumentar el peso de lodo y continuar la perforación del pozo, se observaron cavings con morfología astillada y tabular (Fig. 9), indicando una zona presurizada o con capas débiles. Seguidamente se observó un cambio en la morfología de tabular a tipo bloque que indica una mayor penetración por parte del lodo.



Figura 9. Morfología astillada y tabular producida por alta presión de poro o vibraciones mecánicas.

La figura 10 presenta los resultados del modelo geomecánico y sus conclusiones. El criterio de Lade modificado ha sido utilizado debido a que provee una buena estimación de la presión de colapso (Ewy, 1999). Múltiples modos de falla son observados con frecuencia a partir de las diferentes morfologías de *cavings*. La morfología predominante que se reportó fue laminar / tabular, lo que sugiere una falla anisotrópica de la roca debido al deslizamiento en el plano de estratificación o deslizamiento a lo largo de los planos de fracturas. El ciclo de limpieza del hoyo podría ser insuficiente como se describe en los datos de PWD. El pozo no indica una limpieza apropiada / variaciones de las propiedades del lodo y algunos de los problemas de perforación (NPT) están asociados no solo a un problema geomecánico sino también a la limpieza del pozo.

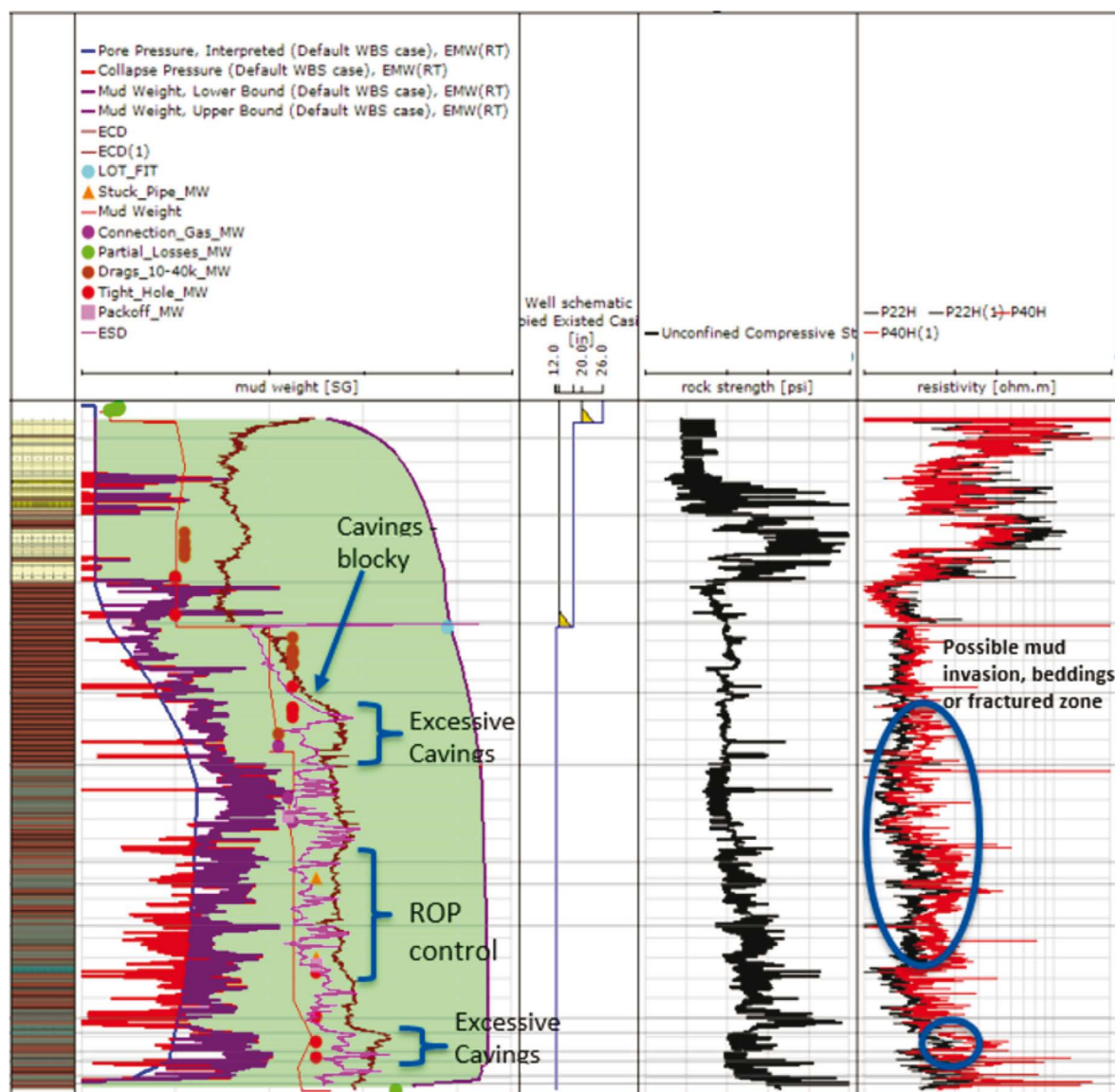


Figura 10. Definición de la ventana de lodo basada en el modelo geomecánico. Se observan diferentes tipos de cavings que indica múltiples tipos de falla. El ECD tiende a aumentar cuando se perfora y es controlada cuando se controla el ROP. La resistividad indica una posible invasión de lodo, estratificación o zonas fracturadas que se alinean con las zonas de *cavings* y las respuestas de ECD observadas

Mapa de riesgos

El proceso del mapa de riesgos se enfoca en identificar soluciones a riesgos y peligros potenciales a través de un estudio geomecánico que se enfoca en mitigar riesgos de perforación, geológicos y geomecánicos. Este flujo de trabajo permite definir una ventana operativa segura que identifica qué barreras potenciales se requieren para mitigar los riesgos, para producir de manera segura y efectiva un pozo de calidad excepcional. El análisis comienza evaluando los problemas observados para cada sección de los pozos cercanos. Los eventos se clasifican (Fig. 11)

por probabilidad (cantidad para cada pozo) y gravedad (tiempo asociado). La figura 12 muestra el mapa de riesgos correspondiente.

		Probabilidad		
		Baja < 30% pozos	Media 30-60% pozos	Alta >60% pozos
Severidad	Leve < 4hrs			
	Moderado 4hrs a 24 hrs			
	Severo 24 hrs a 48 hrs			
	Alto Impacto > 48hrs			

Figure 11. Criterio de clasificación de riesgos de BHGE.

La clasificación de riesgos se define por tipo de problema geomecánico, probabilidad / severidad, evaluación del problema de la sección, métodos para prevenir y mitigar. Después de la evaluación de riesgo, las acciones de predicción se definen para cada riesgo según su gravedad y el análisis del modelo geomecánico previo a la perforación en la nueva ubicación. Además, se recomiendan instrucciones para mitigar los riesgos en caso de que se observe un problema durante la perforación para controlar el NPT. La Figura 12 muestra un ejemplo de una sección analizada para este caso de estudio.

	Probabilidad / Severidad	EVALUACION	ACCIONES PREVENTIVAS	ACCIONES DE MITIGACION
Peso de Fluido		El peso de lodo recomendado es mayor que el gradiente de colapso (GC) estimado en gran parte de la sección. Se observan intervalos con posibilidad de acamamiento incrementando el efecto en el GC permitido - GC > MW (zona superior de Palermo Alto) que pueden ser controlados con buenas condiciones de limpieza del pozo. Atentar a zona próxima de 1900mMD donde se observa incremento en el GC. Esta sección va a ser perforado con elevada inclinación y por eso es importante mantener buenas prácticas de limpieza de pozo.	Utilizar el MW mínimo recomendado. Incrementar MW gradualmente si se observa incremento/alto volumen de cavings angulares. Mantener MW y revisar la efectividad del sello si aparecen cavings con forma de bloque o tabulares. Mantener prácticas eficientes de limpieza de pozo. Controlar velocidad de viaje para evitar efecto "pistoneo/suabeo" que genera cambios en el ECD, invasión del lodo e inestabilidad.	Mantener MW y las propiedades del fluido planeadas. Incrementar el peso de fluido gradualmente en caso de observar incremento/alto volumen de cavings angulares. Mantener MW y revisar la efectividad del sello si aparecen cavings con forma de bloque o tabulares.
Influjos		La presión de poro se interpreta de normal/sobrepresurizada en las formaciones de esta sección. Sin embargo, no se ha reportado influjos en los pozos de correlación. Pressure/Splitter cavings reportados en el pozo FV2001.	Utilizar el MW mínimo sugerido para esta sección.	Utilizar el MW mínimo sugerido para esta sección.
Pérdida de Fluido		Existe posibilidad de pérdidas inducidas al trabajar puntos apretados, resistencias y/o empaquetamientos. Yacimiento esta depletado.	Utilizar el MW sugerido y el mínimo gasto posible. Monitorear la presión de casing y tubería y el volumen en los tanques. Utilizar material sellante para evitar la invasión de fluido en los planos de debilidad, posibles microfracturas y/o fracturas y en zonas permeables. Controlar velocidad de viajes.	Adicionar material anti-pérdida. Controlar velocidad de viajes.
Empaquetamiento		Se observan demasiados problemas reportados de empaquetamiento en los pozos de correlación. La sección se va a ser perforado con elevada inclinación y la limpieza es importante para disminuir el riesgo de empaquetamiento. Hay posibilidad de intervalos con acamamiento y como no hay imágenes para confirmar el dip y azi, no se fue posible definir el ángulo de ataque para minimizar este efecto. La formación IPA 170 tiene el mayor gradiente de colapso y el GC > MW podría generar altos volumen de cavings. Esto y la falta de limpieza del pozo podría resultar en empaquetamientos.	Usar MW recomendado. MW muy alto podría desestabilizar planos de fisilidad/debilidad de lutitas. Monitorear vol y morfología de cavings. ECD y ROP para evaluar limpieza. Mantener prácticas para descarga de recortes y caving. Circular antes de repaso. Optima limpieza antes del viaje. Usar ROP que permita limpieza, controlar # de viajes (si es posible) y velocidad para evitar suabeo/pistoneo.	Reacción adecuada a empaquetamientos. Limpiar de forma eficiente el pozo. Controlar ECD para evitar suabeo y estar atentos a parámetros de perforación que indiquen riesgo de empaquetamiento.
Restricciones		Intercalaciones de litologías con diferente resistencia mecánica y composición química adicionales al efecto de la orientación e inclinación del pozo generan secciones de pozo con escalones que ocasionan restricciones y posible empaquetamiento. Consecuencia: puntos apretados, dificultades en los viajes y bajando el revestidor.	Usar inhibidores de arcillas y material sellante. Evitar vibración de sarta y circulación en intervalos de lutitas. Minimizar tiempo de exposición para evitar debilitamiento por invasión de fluido. Monitorear volumen/morfología de cavings. Mantener limpieza pozo. Controlar velocidad de viaje para evitar efecto "pistoneo/suabeo" que genera cambios en ECD, invasión de lodo e inestabilidad.	Reevaluar composición química del lodo para encontrar optimo balance entre inhibidor de arcillas y estabilizador de lutitas (no hay ensayos de núcleos que indiquen los mejores fluidos y actividades químicas para recomendar los mejores inhibidores). Mantener optima limpieza del pozo. Usar reaming y/o backreaming solo cuando la restricción lo amerite, no como práctica preventiva.
Pega Diferencial		Riesgo de pega diferencial areniscas depletadas (Springhill) debido a alto sobrebalance. Utilizar los valores mínimos de peso de fluido recomendado al atravesar estas formaciones.	Utilizar material de puenteo. Utilizar el menor MW sugerido en esta sección.	Utilizar procedimientos de liberación de pega diferencial adecuados.

Figure 12. Mapa de riesgos

RECOMENDACIONES

Un modelo geomecánico confiable y robusto depende de los datos medidos y de los registros de pozo. La siguiente lista muestra los datos mínimos necesarios para reducir las incertidumbres:

- Imágenes de alta resolución LWD con cobertura azimutal del pozo para identificar mejor los eventos indicadores de tipo de fallas – tales como *breakouts* y fracturas inducidas por la perforación- características geológicas naturales (el desarrollo de fallas de tracción puede verse afectado por estratificación o fracturas preexistentes) para restringir el modelo de esfuerzos (isotrópico, anisotrópico, efectos de plasticidad y *creep*). Las imágenes de pozo pueden ser útiles para estimar la resistencia de la roca, la magnitud y dirección del esfuerzo y la presión de poro).
- Pruebas uniaxiales y triaxiales convencionales a baja presión de confinamiento para obtener UCS y coeficiente de fricción. Estos parámetros son cruciales para calibrar los parámetros de roca estimados utilizando correlaciones de registro.
- El análisis de núcleos de planos débiles puede ayudar a determinar si la roca está fallando anisotrópicamente.
- Campaña de laboratorio para definir la actividad de formación por composición de fluidos.
- Monitorear cavings - cantidad y forma / geometría (las imágenes de pozo resultan de suma utilidad) para confirmar y determinar el modo de falla de las inestabilidades del pozo durante la perforación si surgen problemas.
 - o Cuando es plano / tabular: tome medidas para evitar la filtración del lodo; elevar el peso del lodo o aumentar el ángulo de ataque a la capa
 - o Cuando está astillado / escamoso: elevar MW
 - o Cuando es en bloque: evite maniobras de repaso; extreme las medidas para la limpieza del pozo; revisar los aditivos del lodo y/o cambiar el tipo de lodo y/o cambiar el peso del lodo para evitar la penetración del mismo en los planos de las fracturas.
- Realizar mediciones de LOT / XLOT (LOT Extendidos).
- Realizar mediciones con LWD de perfiles acústico, resistividad, densidad y rayos gamma, para el estudio geomecánico. Debe considerarse que las zonas fracturadas pueden ocasionalmente producir saltos de ciclo en el perfil acústico (McNally, 1987). Se recomienda que el GR se encuentre cerca del trepano para la detección temprana de Springhill
- Monitoreo en tiempo real para la sección de 12 ¼ " para la toma de decisiones durante la perforación.

CONCLUSIONES

La falta de información y/o falta de disponibilidad de datos es un problema común que enfrentan muchas operadoras. Sin embargo, desde la perspectiva geomecánica, los informes diarios de perforación de pozos cercanos junto con los procedimientos operativos, parámetros de perforación y un buen control de calidad en los registros disponibles pueden ayudar a comprender los riesgos asociados y ayudar en la mitigación de los mismos. Para estos casos de estudio, múltiples modos de falla fueron observados:

- Análisis de cavidades (forma y tamaño): astillado y *cavings* angulares indican falla de cizalla de la roca en la pared del pozo. *Cavings* en bloque y tabulares indican una falla de cizallamiento a lo largo de los planos de debilidad preexistentes tales como planos de estratificación, planos de clivaje o fracturas.
- Propiedades del lodo: determinar si el lodo está interactuando con la formación y causando una mayor presión en el entorno cercano al pozo. Además, mantener los parámetros de lodo óptimos y los niveles de concentración necesarios para evitar la inestabilidad química.
- Presión durante la perforación (PWD): los picos ECD observados indicaron problemas de limpieza del pozo y riesgo de empaquetamiento (*packoff*) si no se reduce la cantidad de sólidos en el anular. Un buen programa de limpieza de pozos, con una cantidad manejable de *cavings* puede garantizar la limpieza del pozo.
- Procedimiento operacional: *Back-reaming* solo se debe considerar si es necesario, cuando los ciclos de limpieza y los viajes cortos no son suficientes para limpiar el ripio. Además, un buen sistema hidráulico, control de ROP, maniobras de circulación para la limpieza del pozo, velocidad de viajes (*tripping*) controlada para evitar surge/swab son buenas prácticas en este tipo de prospectos.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a las compañías ENAP y a Baker Hughes a GE Company por permitir la publicación de este trabajo.

REFERENCIAS CITADAS

- | | |
|---|---|
| <p>Arbe, H., Fernández Bell Fano, F., 2002. Los reservorios de la Formación Springhill en el área costera fuera. En: Schiuma, M., Hinterwimmer, G., Vergani, G. (Eds.), Rocas Reservorio de las Cuencas</p> | <p>Productivas Argentinas, pp. 75-89. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata.</p> |
|---|---|

- Eaton, B.A., 1969. Fracture gradient prediction and its application in oilfield operations. *J. Petrol. Tech.*, October 1969, p1353-1360.
- Ewy, R.T., 1999. Wellbore-Stability Predictions by Use of a Modified Lade Criterion, *SPE Drill. and Completion*, v. 14, no. 2, Junio.
- Fontana, H., Paris, M., Ong, S. Borehole Stability (Geomechanics) Modeling and Drilling Optimization Practices Improve Drilling Curves in Naturally Fractured Shale – A South Argentina Experience. *SPE/IADC* 107474
- Lashkaripour, and Dusseault, 1993. (Cited in Horsrud, P., 2001. Estimating Mechanical Properties of Shale from Empirical Correlations, *SPE Drilling and Completion*, v. 16, no. 2, pp. 68–73.)
- McNally, 1987. Estimation of coal measures rock strength using sonic and neutron logs. *Geoexploration* 24, pp. 381–395.
- Otzen Martinic, G., 1999. Geología del yacimiento Daniel Este – Dungeness. Cuenca de Magallanes, Chile. Gerencia de Exploración y Producción. Informe interno ENAP-MAGALLANES.
- Peroni, G., Cagnolatti, M., Pedrazzini, M., 2002. Cuenca Austral: Marco geológico y reseña histórica de la actividad petrolera. In: Schiuma, M., Hinterwimmer, G., Vergani, G. (Eds.), *Rocas Reservorio de las Cuencas Productivas Argentinas*, pp.11-19. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata.
- Schwarz, E, Veiga, G.D., Spalletti, L.A, Massaferro, J.L, 2010. The transgressive infill of an inherited-valley system: The Springhill Formation (lower Cretaceous) in southern Austral Basin, Argentina. *Marine and Petroleum Geology* 28 (6), pp. 1218-1241.
- Teran, C., Vergara, L., Varela, R., Tarrés, G., Escobar, R.. Monitoreo de derrumbes para la detección de inestabilidad de pozo en la formación Vaca Muerta, IAPG 2017.
- Zoback, M., 2012 *Reservoir Geomechanics*. First published 2007, 7th printing 2012.