Volver

MONITOREO DE DERRUMBES PARA LA DETECCIÓN DE INESTABILIDAD DE POZO EN LA FORMACIÓN VACA MUERTA

Claudia Teran, Leonardo Vergara, Raúl Varela, Gustavo Tarrés, Rodrigo Escobar, YPF S.A.

claudia.p.teran@ypf.com, leonardo.vergara@ypf.com, raul.a.varela@ypf.com, gustavo.tarres@ypf.com, rodrigo.a.escobar@ypf.com

Sinopsis

Previamente a la perforación de un pozo se realiza un modelo geomecánico consistente y predictivo del área estudiada, con el cual, se genera sobre la trayectoria planeada para el nuevo pozo una ventana operativa de perforación, que incluye, el diagrama de cañerías y plan de densidad de lodo a utilizar para mantener las paredes estables.

Durante la ejecución de la perforación, se pueden presentar problemas de inestabilidad de las paredes, los cuales pueden ser detectados y remediados, realizando el monitoreo en tiempo real del material proveniente del pozo. Este material obtenido en superficie, puede ser de dos tipos; el cortado por el trepano conocido como recortes y los derrumbes que son todos aquellos fragmentos de rocas, que no son cortados por el trépano. Los derrumbes presentan morfologías variadas tales como angulares, blocosos/tabulares, astillados entre otras, las cuales, pueden relacionarse directamente con algún tipo de inestabilidad de la pared.

Dado que el monitoreo sistemático de derrumbes permite identificar las causas que desestabilizan las paredes del pozo, su aplicación en tiempo real se convierte entonces en una herramienta útil y económica en la toma de decisiones de las acciones remediales inmediatas para el saneamiento de la inestabilidad.

Este artículo describe una metodología diseñada para el monitoreo de los derrumbes durante la perforación, que consiste básicamente en procedimientos para: a) Procedimiento para la adquisición de muestras en pozo, b) Descripción de las características morfológicas de los tipos de derrumbes y las acciones remediales a realizar en cada caso, c) Indicación del reporte diario a completar por los operarios y d) Descripción del análisis de la información recolectada durante el muestreo.

Además se describe la aplicación de este método, en un pozo perforado en la formación no convencional Vaca Muerta.

Introducción

En las últimas décadas, la utilización de la geomecánica como herramienta fundamental, en el diseño y la perforación de pozos, para el desarrollo de los campos de petróleo y gas, ha permitido la optimización de los tiempos y costos planeados para la realización de cada proyecto.

La aplicación de esta disciplina en la perforación de un nuevo pozo, se realiza, a través de la construcción de un modelo de geomecánica consistente en el área de correlación que luego se aplica sobre la trayectoria de pozo planeado, con el fin de establecer el diagrama de cañerías y el plan de densidad de lodo que se utilizara para perforar el pozo. La selección de estas dos características con base en el modelo de estabilidad geomecánica del pozo, aunado a las buenas practicas operativas de perforación, han mostrado ser componentes fundamentales que permiten alcanzar las profundidades totales planeadas para los pozos, sin o con la mínima cantidad de eventos de perforación relacionados con la inestabilidad mecánica de las paredes de los mismos.

Un modelo de geomecánica para ser aplicado a perforación, en su forma básica consiste en un conjunto de ecuaciones y correlaciones que permiten estimar; las propiedades mecánicas, la presión poral y los esfuerzos, los cuales se combinan mediante un criterio de rotura, para predecir cuándo la

roca se romperá en tensión o compresión, con esto se genera una ventana operativa de estabilidad de pozo para perforación como la que se muestra en la figura 1.
La densidad del lodo para perforar un pozo cuya ventana operativa de estabilidad corresponde a la mostrada en el figura 1, debe mantenerse siempre entre las líneas punteadas azul y roja (zona verde) con el fin de estar siempre, en la zona segura de estabilidad, en la cual no se experimentaran fallas por cizalla o por tensión en la pared del pozo. Sin embargo, la naturaleza cambiante del subsuelo, la falta de información para calibración de los modelos de geomecánica previo a la perforación y la incapacidad de representar mediante ecuaciones el comportamiento de la corteza terrestre, pueden ocasionar que las predicciones geomecánicas de la estabilidad de pozos se desvíen del comportamiento del pozo durante la ejecución de la perforación; por esta razón es necesario monitorear el pozo durante la perforación, para detectar cualquier tipo de desviación del comportamiento mecánico estimado para el pozo previo a la ejecución de la operación.
Uno de los parámetros que permiten el monitoreo de la estabilidad mecánica de la pared de un pozo en perforación, son los derrumbes (*cavings*) los cuales son observados en superficie y constituyen todos aquellos fragmentos de rocas, que no son cortados por el trépano.
Los derrumbes presentan formas variadas y sus dimensiones oscilan desde unos pocos milímetros, los cuales son identificados con lupa binocular, hasta el orden de los centímetros; usualmente provienen de lutitas, que son rocas con predominio de limo y arcilla.
El monitoreo sistemático de derrumbes permite:

- Identificar causas que desestabilizan las paredes del pozo en tiempo real y en función de ellas tomar acciones remediales inmediatas.
- Conocer cuáles son las formaciones inestables del campo.
- Identificar el tipo de falla que se está produciendo en el pozo.
- Calibrar el modelo geomecánico del yacimiento. El tipo de derrumbe identificado durante la perforación es un dato que se utiliza para calibrar la ventana de estabilidad operativa de perforación del campo; lo cual permite evitar o minimizar desvíos en tiempos y costos planificados de perforación.

Características morfológicas de los derrumbes
Los derrumbes son fragmentos de rocas que no fueron cortados por el trépano, por lo tanto, no presentan marcas de corte por insertos, lo cual lo diferencia de los recortes (*cuttings:* material cortado por el trepano). El tamaño puede variar desde unos pocos milímetros hasta el orden de los centímetros, sin embargo, es común encontrar derrumbes entre 2.5cm a 7.6cm. Tanto los *cuttings* como derrumbes son transportados a superficie por el lodo de perforación. Los tipos más comunes de derrumbes según su clasificación morfológicas son:

Derrumbes Tabulares (*Tabular*) y Blocosos (*Blocky*): estas dos morfologías provienen de planos de debilidades preexistentes en la roca. En el caso de los tabulares, estos planos coinciden con los planos de laminación generados durante la depositación del sedimento. La inestabilidad se produce cuando la dirección de perforación y la dirección de estratificación forman un ángulo menor a 20°. El techo del pozo es la zona más inestable en estas condiciones como se observa en la Figura 2.
Los derrumbes tabulares, son típicos de lutitas físiles (shales), estos se muestran en la figura 3 en la cual puede apreciar superficies planares las cuales corresponden a planos de fisilidad.

En el caso de los derrumbes blocosos, los planos de debilidad corresponden a planos de fracturas previas a la perforación del pozo. Estos planos exhiben superficies alteradas “antiguas”. Este tipo de derrumbe, presenta mayor espesor que los tabulares, como se muestra en la figura 4. Otras características de los derrumbes blocosos y tabulares son: sus superficies muestran planos débiles pre-existentes, suelen tener una o más superficies paralelas y estas tienden a ser suaves y planas y la falla inicia en el lado alto del pozo al perforar casi paralelo a un plano de debilidad.

En presencia de estos tipos de derrumbes, algunas de las acciones remediales que se recomiendan para minimizar el impacto de este tipo de inestabilidad, son:

- Mantener la densidad de lodo.
- Minimizar pérdidas de circulación.
- Usar aditivos obturantes (*LCM - Loss control material*).
- Evitar sacar rotando (*back reaming*). De esta manera evitamos estimular mecánicamente la inestabilidad de las paredes del pozo.
- Mejorar limpieza de pozo.
- Evitar vibraciones de sarta y altas RPM (*Revolutions per Minute*).

Derrumbes Angulares (*Angular*): estos derrumbes provienen de zonas que han experimentados fallas por compresión (*Breakouts*) en la cara del pozo, inducidas durante la perforación. Estas zonas falladas pueden ser visualizadas con perfiles de imagen acústica o resistiva y se reconocen por observarse franjas negras ubicadas a 180° de distanciamiento como se observa en la Figura 5.
Estos derrumbes angulares, presentan formas triangulares y en sección transversal exhiben forma cónica o de cuña como se muestra en la Figura 6, además en sus superficies se reconocen planos de fractura recientes y eventualmente en una de sus caras presenta curvatura, la cual corresponde a parte de la circunferencia perimetral del pozo.

Si durante el monitoreo se observa este tipo de derrumbe algunas de las acciones remediales recomendadas son:

- Si la densidad de lodo es cercana a la presión de poro, incrementar densidad de lodo.
- Si la densidad de lodo es cercana al gradiente de fractura; a) Mantener densidad de lodo, b) Reducir pérdidas de fluido y c) Mejorar limpieza de pozo.

Derrumbes Astillados (*Splintery*): estos derrumbes alargados resultan cuando el pozo experimenta falla por tensión, son producidos en toda la circunferencia de la cara del pozo como resultado de perforar bajobalance (*underbalance*) a través de lutitas (*shales*) sobrepresionadas o perforar muy rápido en rocas con baja permeabilidad.

En pozos con alto ángulo y en formaciones fisiles (con marcada laminación), los derrumbes astillados pueden ser de gran tamaño, habiéndose fallado a través del plano de fisilidad; en la figura 7 se muestran ejemplos de este tipo de derrumbes.

En presencia de este tipo de derrumbes se recomienda:

- Aumentar densidad de lodo hasta que dejen de producirse estos derrumbes.
- Reducir la velocidad de penetración.
- Optimizar la limpieza de pozo

Derrumbes Espejos de Fricción (*Slickenside*):Los derrumbes espejos de fricción provienen de planos de fallas geológicas en rocas duras, en alguna de sus superficies se puede identificar estrías de movimiento; en la figura 8, se muestran ejemplos de este tipo de derrumbes.

Al observar este tipo de derrumbe durante la perforación del pozo, las recomendaciones para evitar la inestabilidad del pozo son:

- Mantener buena limpieza del pozo.
- Se recomienda acondicionar lodo con aditivos obturantes antes de atravesar estas zonas de fallas.

- Evitar usar lodo con salinidad mayor a la salinidad del fluido de formación. Se recomienda un fluido con salinidad balanceada. El desbalance en la salinidad del lodo de perforación respecto al agua de formación induce la deshidratación de los fragmentos de roca de la zona de falla lo cual favorece la desestabilización de la pared del pozo.

Derrumbe por Hidratación de Arcillas (*Clay Rings*): se generan debido a la interacción químicas entre el lodo y la formación durante la perforación y suelen causar embolamientos. En la Figura 9 se muestra, la boca de pozo con derrumbes por hidratación en el lodo de perforación.

Existen lutitas (*shales*) con alto contenido de arcillas de tipo esmectitas. Este mineral de arcilla reacciona en contacto con agua tendiendo a hincharse al hidratarse. Esto provoca la generación de grumos de arcilla que se incorporan al lodo de perforación.

Ante la presencia de anillos de arcilla se recomienda:
- Cambiar el tipo de lodo por ejemplo a base aceite.
- Mejorar la inhibición del lodo.

Derrumbes Retrabajados (*Reworked*): corresponde a aquellos que perdieron su forma original durante su transporte a la superficie; pueden ser de cualquier morfología de las anteriormente descritas y presentan formas esféricas con bordes erosionados, los cuales son productos del transporte a superficie. En la figura 10 se muestran esto derrumbes.

Metodología para el Monitoreo de Derrumbes

La metodología descrita a continuación está orientada hacia el monitoreo sistemático de los derrumbes que se presentan durante la las operaciones de perforación de pozos y consiste básicamente de procedimientos para: a) La adquisición de muestras en pozo y cálculo de caudal de derrumbe producido, b) Descripción de las características morfológicas de los tipos de derrumbes, c) Indicación del reporte diario a completar por los operarios y d) Descripción del análisis de la información recolectada durante el muestreo.

a) Adquisición de la muestra y cálculo de caudales de derrumbes producidos

Bandeja de muestreo de derrumbes:

Se debe instalar una bandeja de volumen conocido, en la descarga de la zaranda o en la descarga de los contenedores de recortes como se indica en la figura 11. Este recipiente tiene como objetivo recolectar material proveniente de la perforación y es utilizado para los cálculos de caudal del material de retorno del pozo. La base del recipiente debe estar construida con malla, para garantizar el drenaje de la fase liquida, con ello evitar medir volumen de líquido y minimizar este error en el cálculo del caudal de derrumbes.

La muestra debe tomarse cada una hora (El intervalo de muestreo se debe definir en función de la velocidad de perforación y el caudal de material proveniente de la perforación) y contabilizar el tiempo de llenado de la bandeja; con estos datos se estima el caudal de material que proviene del pozo.

Cálculo de caudal de derrumbe producido:

Se calcula el caudal de cortes teóricos en litros por hora (l/h) que se debería producir en las condiciones de perforación que se estén manejando, para ello se necesita conocer el tramo perforado en una hora o en el intervalo de tiempo seleccionado.

Calcular el caudal de cortes real en litros por hora (l/h) que se está produciendo. Para esto es necesario conocer el caudal de material que sale del pozo, para lo cual se usa, el recipiente indicado en la sección anterior; de este se conoce su volumen, y se midió el tiempo que se requiere para su llenado. Con estos datos se estima el caudal de material que sale del pozo en una hora, restando el caudal teórico al caudal real es el volumen de derrumbes producidos.

Entonces si se perfora a una tasa constante, el volumen de cortes que sale del pozo, debería ser igual al volumen de un cilindro (diámetro del pozo x profundidad) sobre cualquier intervalo determinado.

Si el volumen actual es mayor que éste, entonces está indicando exceso de material proveniente del pozo y si el volumen de cortes actual es menor que el volumen calculado, está indicando que no todo lo que está siendo cortado por el trépano está saliendo a superficie. El primer caso podría estar indicando la presencia de algún tipo de material extra al cortado, que podría corresponder con derrumbes, mientras que para el segundo caso podría estar dando indicios de pobre limpieza del pozo, lo cual tiene mayor probabilidad de ocurrencia en pozos con alto ángulo y horizontales, donde el transporte y remoción de los cortes es un importante factor en la habilidad para perforar el pozo. Es necesario tener en cuenta en este punto, que una medición puntal de material de retorno del pozo, no es suficiente para tener una conclusión respecto a la estabilidad mecánica del pozo o el manejo de la hidráulica de mismo, es imperativo analizar las tendencias de los volúmenes para un valor absoluto.

b) Descripción morfológica de la muestra de derrumbes

Inicialmente se realiza la clasificación porcentual de los tipos de derrumbes presentes en la muestra, para esto, se toma un volumen de muestra equivalente a la máxima capacidad de llenado de la bandeja instalada en la descarga, descrita en la sección a). De esta muestra se seleccionan solo los derrumbes y se descartan los cortes de trépano. Posteriormente se realiza un conteo del número de derrumbes en la muestra, este valor equivale a un porcentaje de 100 y luego se clasifican o agrupan de acuerdo al tipo de morfología que posea cada uno.

Se cuenta el número de derrumbes en cada grupo y se le asignan porcentajes de acuerdo a este valor así:

$$A \rightarrow 100\%$$
$$B \rightarrow X$$

Por tanto se tiene que el porcentaje que le corresponde a la morfología evaluada es:

$$X = \frac{B * 100}{A}$$

Dónde:
A: Corresponde al número de derrumbes totales en la muestra
B: Corresponde al número de derrumbes de una morfología en particular

La relación anterior de porcentajes se hace para cada morfología encontrada en la muestra.

Después de la clasificación morfológica de los derrumbes, se procede con la clasificación de tamaños de los mismos para estos, la muestra de derrumbes colectada se agrupa en tres grupos:

grandes, medianos y pequeños. Las medidas promedios de cada una de los tres grupos, corresponderán a las longitudes; mayor, mediano y pequeño de la muestra.

c) Elaboración del reporte de derrumbes

Las mediciones y cálculos que se van realizando durante el monitoreo de derrumbes, son registrados en dos planillas: una que corresponde a las "hojas de registro para el monitoreo de derrumbe" en la cual se documentan los datos para realizar el cálculo de caudales de material proveniente del pozo, un ejemplo de la misma se muestra en la figura 12, a su vez en la planilla "Programa de Monitoreo de Derrumbes", se colocan las fotografías digitales de los derrumbes, la profundidad de la muestra, el caudal estimado, los tamaños mayor, menor y promedio, litología y forma de derrumbe dominante; en la figura 13 se muestra un ejemplo.

Realización de gráficos para el reporte: con la información almacenada en las 2 planillas descriptas anteriormente, se realizan los siguientes gráficos en tiempo real:

- Caudal de derrumbe-caudal de recortes (*cutting*) en función de la profundidad.
- Porcentaje de morfologías de derrumbes en función de la profundidad.
- Frecuencia de tamaños de derrumbes en función de la profundidad.

En las Figuras 14, 15 y 16 se muestran los gráficos de caudal, porcentaje y frecuencia de tamaño de derrumbes.

d) Análisis de la información recolecta durante el muestreo

Aunque suena bastante simple, hay algunos problemas prácticos al momento de tomar la muestra en zaranda:

¿Todo el material de retorno está siendo muestreado?

- ¿Para una zaranda determinada, el recipiente cubre toda la sección o sólo una parte?
- ¿Si el recipiente cubre una parte de la zaranda, el flujo del material de retorno es uniforme o se concentra en los extremos por ejemplo?
- ¿Si está trabajando más de una zaranda?
- ¿En todas las zarandas está saliendo la misma cantidad de material de retorno?
- ¿Las mallas de las zarandas son del mismo tamaño?
- Pérdida de las partículas finas, ya que pasan a través de las zarandas y son atrapadas por la trampa de arena o removidas por los *desilters*, *desanders* y las centrifugas.

¿Qué ocurre con el volumen de lodo?

Dependiendo del tipo de fluido y su viscosidad, así como del tamaño del grano, el lodo crea una película sobre los sólidos provenientes de la perforación. Entonces, una parte del volumen medido, corresponde al volumen de lodo.

¿Qué tan exacta es la unidad de medida por un periodo de una hora?

Dependiendo de la longitud de la bandeja y la cantidad de material de retorno que se está produciendo en el pozo, el recipiente se llenará en menos de una hora. La diferencia de tiempo es fácilmente corregida, es decir, si la bandeja se llena en 15 minutos, multiplique el volumen por 4 para determinar el volumen por hora.

Sin embargo, quedan algunos errores:

- El error causado por el volumen de lodo se debe incluir, incrementándose cuando se extrapola a una hora.

- Si la bandeja no recibe todos los cortes de todas las zarandas, entonces, los errores en la extrapolación del volumen total de cortes, se incrementará cuando se interpolan a una hora.

El resultado final es, por lo tanto, una medida semi-cuantitativa, aunque no muy exacta. Sin embargo, las mediciones continuas, proporcionan tendencias importantes con las cuales se puede evaluar la condición de estabilidad y limpieza del pozo. En el diagrama de flujo mostrado en la figura 17, se resume esta metodología desarrollada para el análisis de la estabilidad del pozo y las acciones mitigatorias para el tipo inestabilidad mecánica detectada mediante la presencia de las diferentes morfologías de derrumbes.

Aplicación de Monitoreo de Derrumbes en Vaca Muerta

El desarrollo de la Formación Vaca Muerta es para YPF un objetivo estratégico, debido al impacto que tiene en la producción de petróleo y gas de yacimientos no convencionales. En la actualidad, las campañas de desarrollos de este play, se realiza mediante la perforación de pozos de trayectorias horizontales con extensión de 1200m hasta 2500m en la sección horizontal, con tendencia a extender los pozos a más de 3000m de rama lateral

Debido a la importancia para la empresa de este desarrollo no convencional, es por lo tanto primordial mantener los tiempos y costos de perforación en los rangos planeados y establecidos; por lo tanto surgió la necesidad de implementar una metodología que permitiera, de forma temprana, alertar al equipo de operaciones, de posibles eventos de inestabilidad mecánica de los pozos durante la perforación de los mismos, para así aplicar las acciones mitigatorias que subsanen la inestabilidad y por lo tanto prevenir desvíos del programa de perforación. El monitoreo de derrumbes, es pues, una herramienta, de bajo costo pero de mucha aplicabilidad en la detección temprana de eventos asociados a la inestabilidad mecánica del pozo.

El monitoreo sistemático de derrumbes, se aplicó por primera vez durante la perforación de pozos horizontales en el reservorio no convencional de Vaca Muerta en el área de YPF, ubicada en la cuenca Neuquina, Provincia de Neuquén, Mendoza y Rio Negro. A continuación se describe la aplicación de la metodología en el caso de estudio.

En la locación X mostrada en la figura 18, se realizarían dos pozos, los cuales navegarían por primera vez en el área en el nivel en VM2. Se inició la perforación de la sección horizontal en el pozo B, pero fue imposible perforarla debido a la cantidad de eventos de perforación tales como atrapamiento, resistencias, fricciones, arrastres e incrementos de toque que se experimentaban al intentar perforar la sección horizontal, en la cual se realizaron 3 sidetracks, en intentos por perforar el pozo como se había planeado. Este pozo, finalmente se redireccionó a el nivel VM1, cuyo comportamiento mecánico en el área era conocido, lográndose perforar a profundidad total sin problemas. Sin embargo los costos debido al tiempo extra empleado en los intentos por perforarlo fueron alrededor de 37% más sobre el costo planificado para el pozo. Debido a que no se realizó un monitoreo de los retornos de material de este pozo, no fue posible encontrar la causa que generó los múltiples eventos de perforación que conllevaron a que la operación de pozo se saliera en tiempo y costo del programa. Es además importante mencionar, que las prácticas operativas de perforación llevadas a cabo en este pozo, fueron acordes con las realizadas por el equipo, en los más de 100 pozos horizontales que se han perforado en el campo.

Teniendo en cuenta los eventos experimentados en el pozo B, para la perforación del pozo A se realizó el monitoreo de derrumbes sistemático, el cual evidenció la presencia de derrumbe tipo tabular como se muestra en las fotografías de la figura 19 y en porcentajes que alcanzaron hasta un 40% total de derrumbes durante la perforación y bombeo de baches de limpieza como se

muestra en la figura 20. Teniendo en cuenta que el tipo de inestabilidad detectada a través del análisis de los derrumbes, correspondía a inestabilidad debido a planos de debilidad y que las acciones remediales aunque permitían continuar la perforación del pozo, requerían más tiempo en realizar la limpieza del pozo, a través del bombeo de baches de limpieza y circulación de los mismo, se tomó la decisión conjunta entre el equipo de estudios y el equipo operativo de realizar un desvió del pozo al nivel VM1; esto con el fin de mantener el proyecto en los costos y tiempos planeados.

La aplicación de esta metodología, se llevó a cabo mediante la utilización de una cabina de control geológico ubicada en la locación del pozo, la cual se encargó de las labores de colección de la muestra, descripción y fotografiado de la misma, para posteriormente enviar estos reportes al grupo de estudio, quien fue el encargado del monitoreo de la estabilidad geomecánica del pozo y generar las alertas al equipo de perforación. El protocolo de comunicación utilizado y sugerido se muestra en la figura 20 y costo extra empleado en la cabina de control geológico para realizar las labores en campo para el monitoreo fue de 1.32% más sobre el costo planeado para el pozo.

Sin embargo debido a que el nivel VM2 es atractivo para la compañía en el campo, se planteó a futuro una campaña de caracterización mecánica para este nivel con el fin de entender el comportamiento geomecánico del estrato y buscar soluciones que permitan la perforación del mismo en los márgenes de costos y tiempo que se manejan dentro de la compañía.

Conclusiones

Se desarrolló una metodología para el monitoreo sistemático de derrumbes en tiempo real durante la perforación que incluye los procedimientos para colectar la muestra, realizar la descripción de la misma y reportar lo observado.

La metodología fue aplicada durante la perforación del pozo horizontal en los yacimientos no convencionales de petróleo y gas de YPF Vaca Muerta; donde contribuyó a la toma de decisión temprana de desviar el pozo A, del estrato de navegación VM2, debido a la presencia de eventos de perforación relacionados con la inestabilidad mecánica de las paredes del pozo, los cuales con las practicas operativas estándares de perforación en el área hubieran conducido a los desvíos en los costos planeados, tal y como aconteció en el pozo B.

Bibliografía

Peña Lugo, Y.D. Seguimiento a la Estabilidad de Pozo en Campo. Hidráulica y Limpieza. Ajuste Modelo Geomecánico. Halliburton Latin America. Baroid Fluid Services, 2015.

Hawker D. Vogt K. Manual de Perforación. Procedimientos y Operaciones en el Pozo. Datalog, 2001.

Baker K. Christofer T. Guía de campo sobre Derrumbes. Una incorporación al manejo de estabilidad de pozo en tiempo real. BP, 2008.

Kumar D. Real-time Wellbore Stability Analysis: An Observation from Cavings at Shale Shakers. Schlumberger, 2012.

Plumb R.A. Cavings Analisis: A component of Real Time Wellbore Stability Monitoring. Schlumberger, 2010.

Figuras Anexas

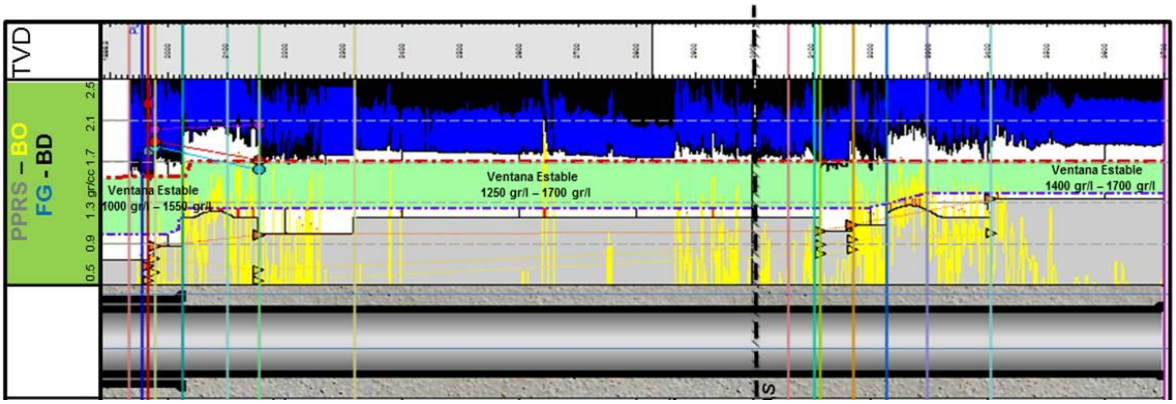


Figura 1. Ejemplo de ventana operativa de estabilidad mecánica de un pozo. Carril 1: Diagrama de cañerías, Carril 2: Perfil de gradiente de presión poral (gris-PPRS), perfil de gradiente de rotura por cizalla (amarillo-BO), perfil de gradiente de límite de pérdida parcial (azul-FG), perfil de gradiente de rotura por tensión (negro-BD), líneas azul y rojas punteadas corresponde con las densidades de lodo máximas y mínimas de casa sección, Carril 3: Profundidad vertical (m).

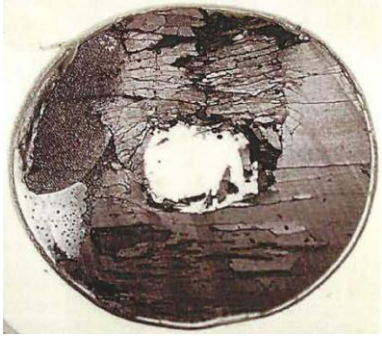


Figura 2. Experimento que demuestra colapso del techo del pozo en lutitas fisiles (shales)[3].

Figura 3. A la izquierda derrumbes tabulares, a la derecha fotografía adquirida en diagonal para apreciar el poco espesor de los derrumbes tabulares.

Figura 4. A la derecha derrumbes tipo blocosos y a la izquierda fotografía toma en diagonal para apreciar el buen desarrollo en las tres dimensiones de los derrumbes blocosos; se identifican caras pseudoparalelas y planos que se intersectan a 90°.

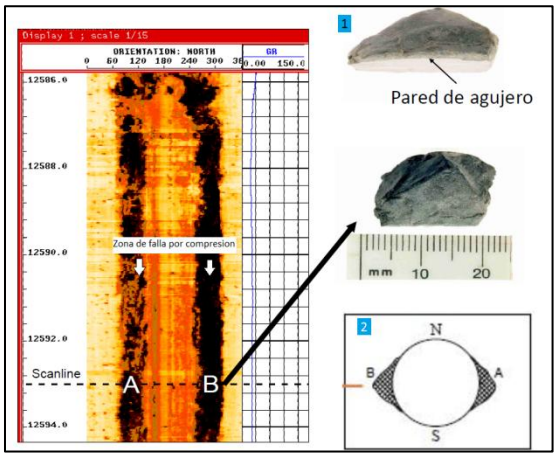


Figura 5. A la izquierda se muestra el perfil de imagen de pozo, en el cual se reconocen zonas de *breakouts* distanciadas a 180° una de otra. En el lado derecho 1) se muestran derrumbes angulares en los cuales se aprecia una cara curvi planar que corresponde a la sección del pozo y en 2) se muestra una sección transversal de pozo, en el cual se dibujan las zonas de falla por compresión (*breakouts*)[5].

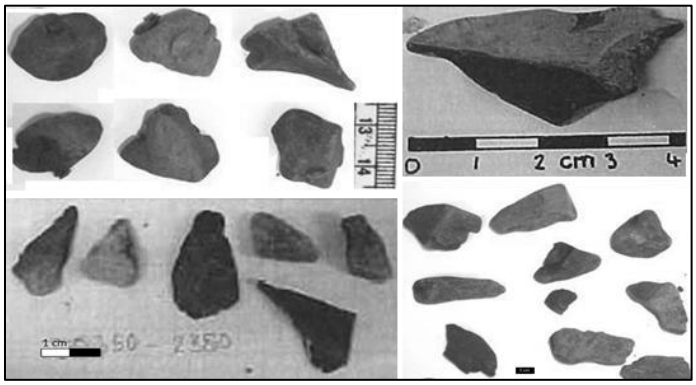


Figura 6. Derrumbes de tipo angulares, en los cuales se reconocen formas cónicas. Eventualmente se puede identificar la superficie curviplanar correspondiente a la cara del pozo[3].

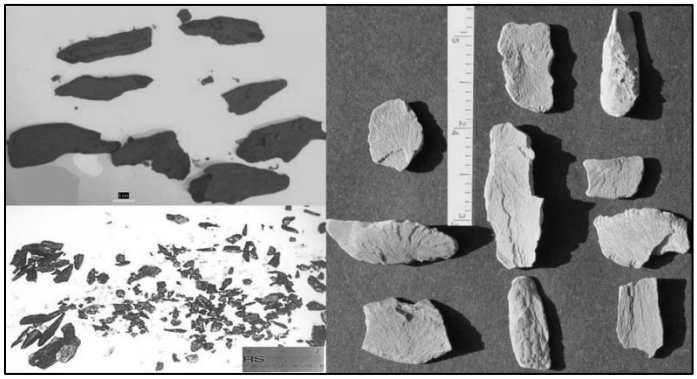


Figura 7. Derrumbes tipo astillados; en sus superficies se evidencian estructuras plumosas.

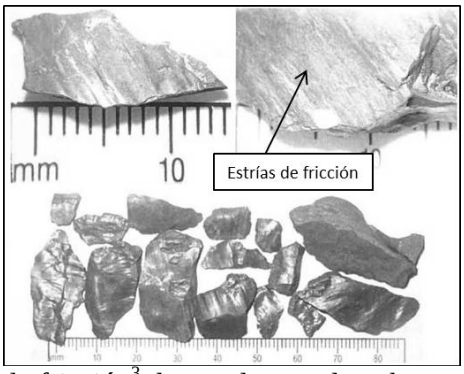


Figura 8. Derrumbes espejos de fricción[3], los cuales pueden obtenerse al perforar zonas con fallas de gran extensión en la corteza terrestre.

Figura 9. Anillos de arcilla en boca de pozo.

Figura 10. Derrumbes retrabajados con bordes y caras erosionadas producto del transporte a superficie.

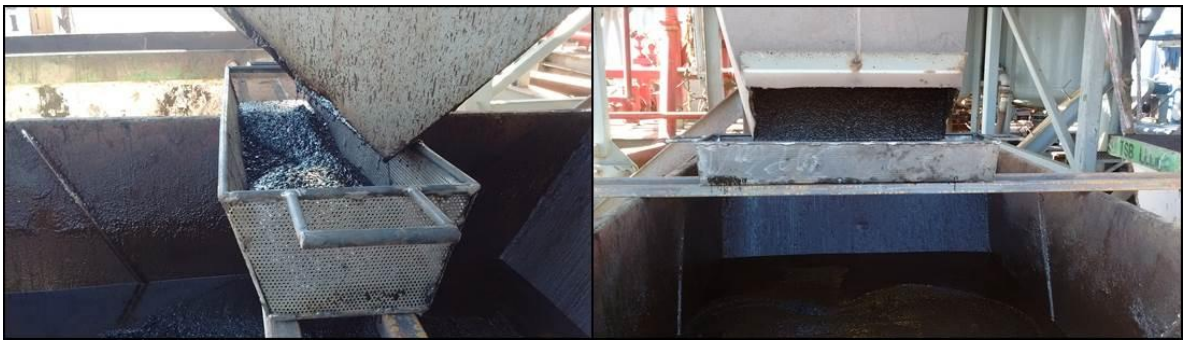


Figura 11. Bandeja colectora de material de formación, ubica en la descarga de del material solido del pozo.

HOJA DE REGISTRO PARA EL MONIOTREO DE DERRUMBES

YPF Geomecánica

Pozo:
Yacimiento:
Operador:
Supervisor:
Volumen de bandeja (l): 15

Datos a completar
datos calculados

N° de Muestra	Fecha	Hora	Diámetro de trépano	Tiempo de llenado	Profundidad final	Intervalo perforado	Tiempo de perforacion	Caudal teórico	Caudal actual	Caudal de derrumbes	Operación	Densidad de lodo	Formación	Comentarios/Observaiones
			pulg	min	m	m	hr	l/hr	l/hr	l/hr		gr/cc		
					3200									
1	01/01/2017	09:00	6.1250	3	3225	25	1	475.2	300.0	-175.2				
2	01/01/2017	10:00	6.1250	2	3275	50	1	950.5	450.0	-500.5				
3	01/01/2017	11:00	6.1250	2	3280	5	1	95.0	450.0	355.0				
4	01/01/2017	12:00	6.1250	1	3290	10	1	190.1	900.0	709.9				
5	01/01/2017	13:00	6.1250	7	3300	10	1	190.1	128.6	-61.5				
6	01/01/2017	14:00	6.1250	5	3310	10	1	190.1	180.0	-10.1				
7	01/01/2017	15:00	6.1250	1	3325	15	1	285.1	900.0	614.9				
8	01/01/2017	16:00	6.1250	1	3360	35	1	665.3	900.0	234.7				
9	01/01/2017	17:00	6.1250	1	3380	20	1	380.2	900.0	519.8				
10	01/01/2017	18:00	6.1250	1	3385	5	1	95.0	900.0	805.0				

Figura 12. Ejemplo de hoja de registro de datos para el monitoreo de derrumbes.

YPF — **Reporte Gráfico de Derrumbes** — YPF

Nombre de pozo:
Fecha:
Dia:
Seccion:
Preparado por:
Revisado por:

Fotografía Digital

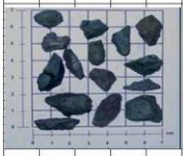
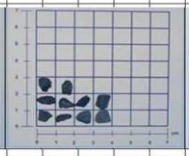
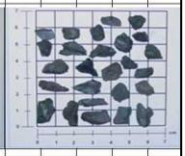
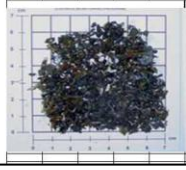
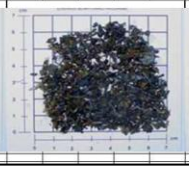
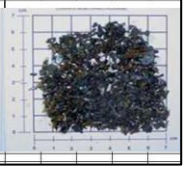
Profundidad MD (m)	Caudal de derrumbes (l/hr)	Tamaño mayor (mm)	Tamaño promedio (mm)	Litologia	Forma de derrumbe dominante	Grande	Pequeño	Medio
3200	125.0	25	15	Lutita	Angular			
3250	125.0	10	5	Lutita	Astilloso			

Figura 13. Ejemplo de hoja de registro de datos para el monitoreo de derrumbes.

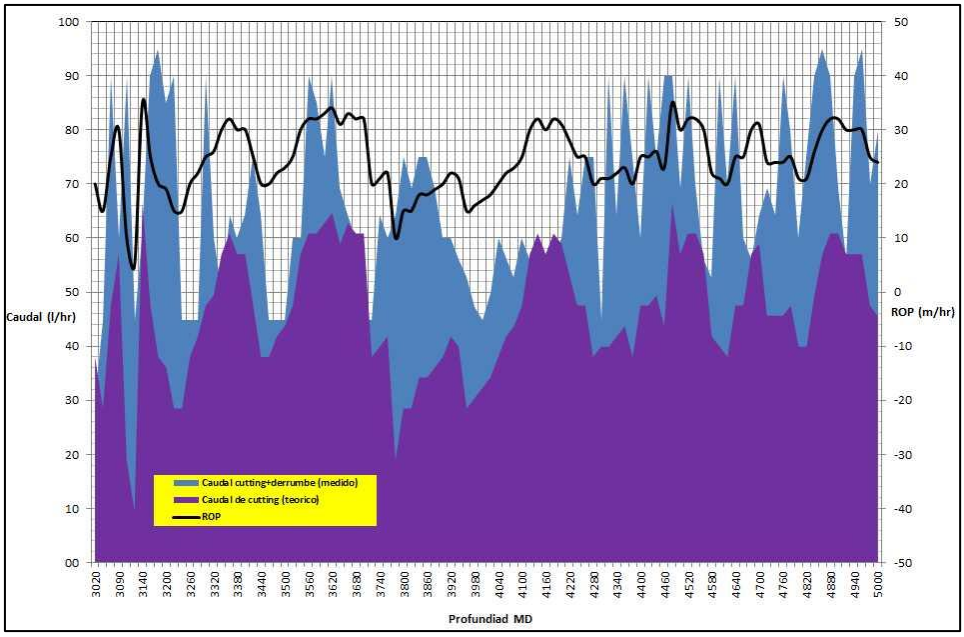


Figura 14. Ejemplo de gráfica de ejemplo de caudal de derrumbe vs caudal de recortes producido en función de la profundidad perforada.

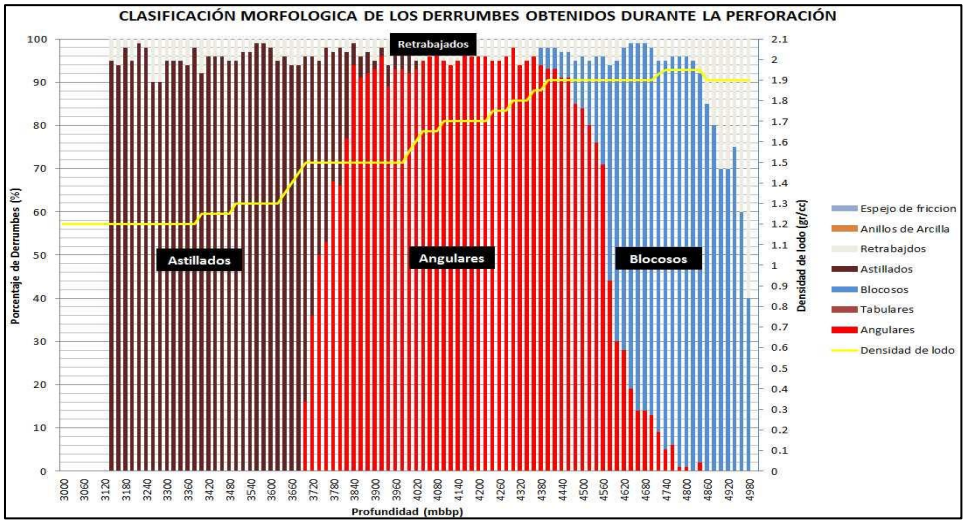


Figura 15. Ejemplo de gráfica de porcentaje de morfologías de derrumbes en función de la profundidad perforada.

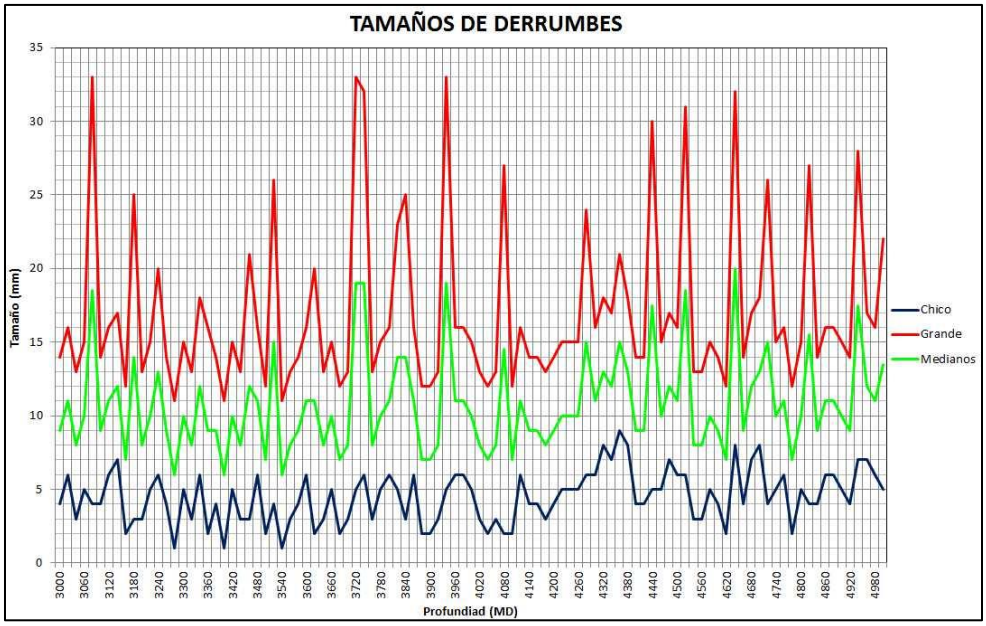


Figura 16. Ejemplo de gráfica de los tamaños de derrumbes en función de la profundidad perforada.

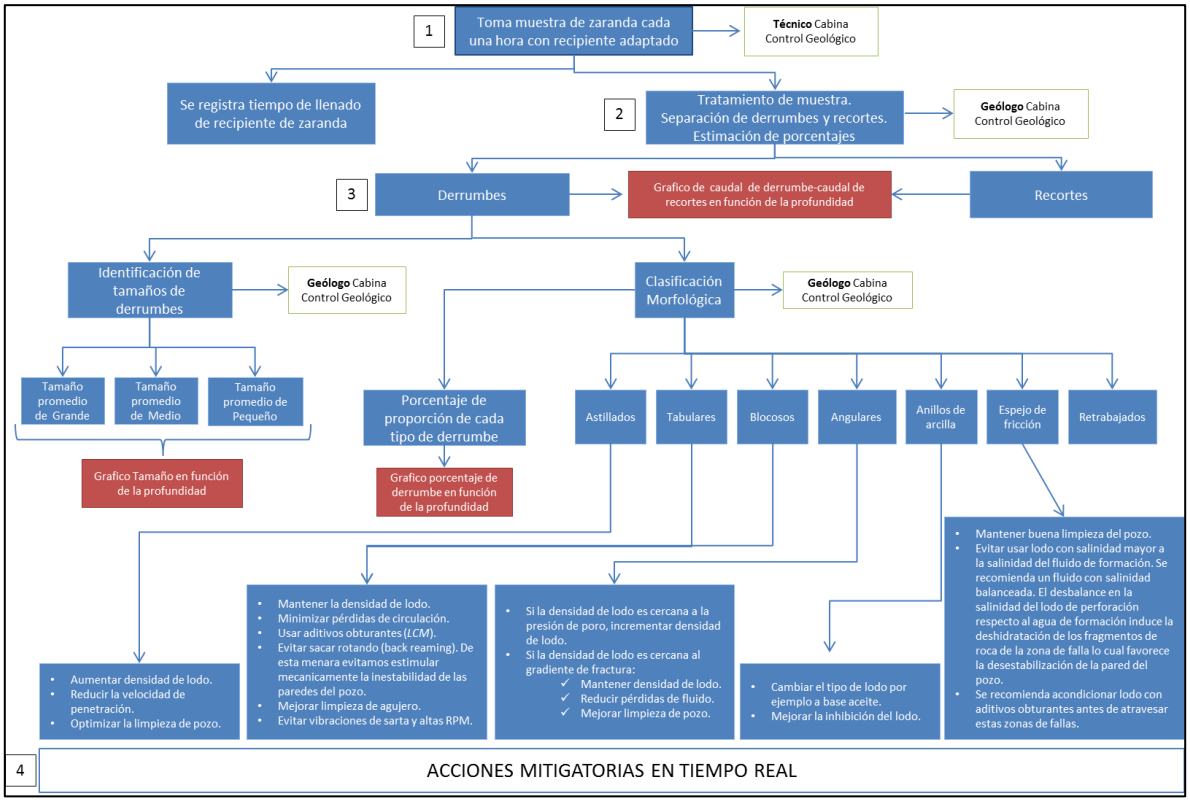


Figura 17. Diagrama de flujo de trabajo para la ejecución de Monitoreo de Derrumbe.

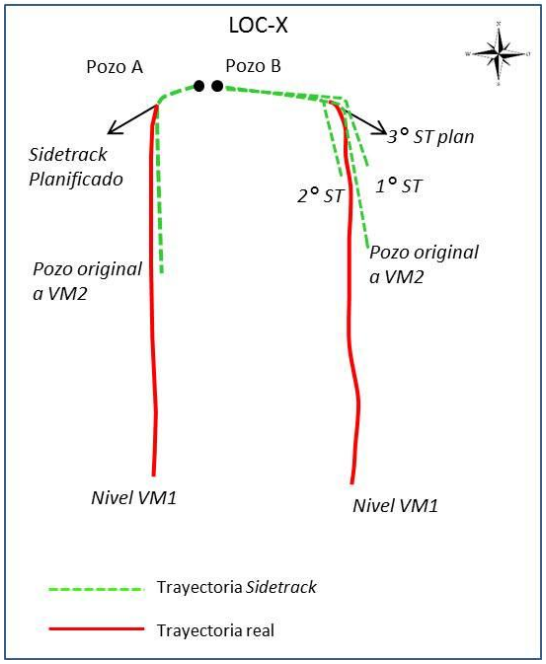


Figura 18. Pozos horizontales en reservorios no convencionales donde se aplicó la metodología de monitoreo de derrumbes para el análisis de la estabilidad mecánica del pozo.

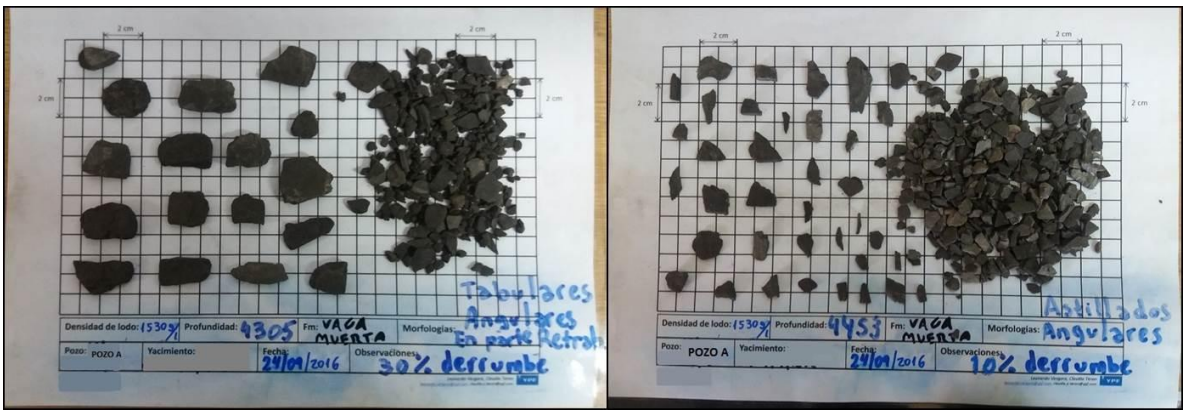


Figura 19. Fotografías de derrumbes obtenidos durante la perforación de la sección horizontal en el nivel VM2 en el pozo A.

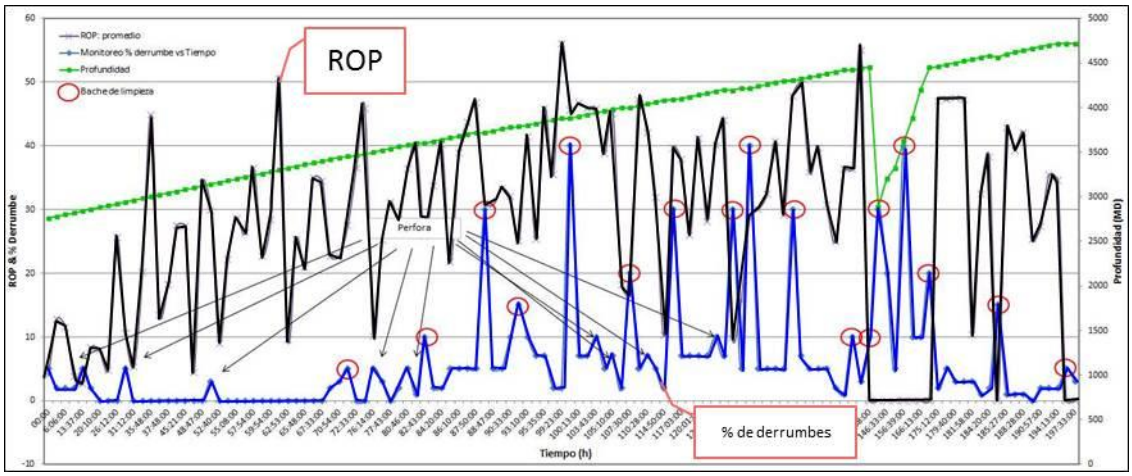


Figura 20. Grafica de caudal de derrumbe vs caudal de recortes producido en función de la profundidad perforada durante la perforación de la sección horizontal en el nivel VM2 en el pozo A.

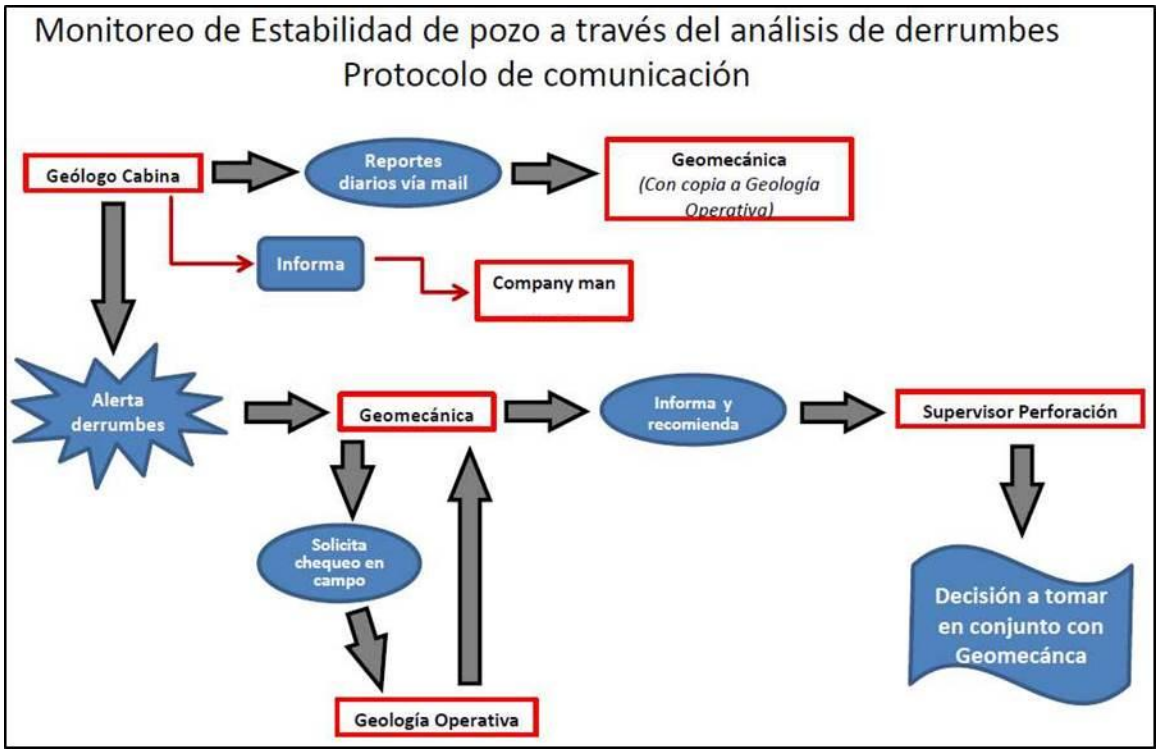


Figura 21. Protocolo de comunicación usado para el monitoreo de derrumbes durante la perforación de la sección horizontal en el nivel VM2 en el pozo A.

Autores

Claudia Teran *(claudia.p.teran@ypf.com)*

Ingeniera de Petróleos, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 2006.
Integrante del grupo de estabilidad mecánica de pozos en el periodo 2004-2007 en convenio UIS-ICP. Durante los últimos 11 años ha trabajado como geomecánica para proyectos de tierra y costa afuera, incluyendo la construcción, calibración en tiempo real y evaluación post perforación de modelos geomecánicos 1D, 3D y 4D, en Colombia, México, Cuba, trinidad y Tobago y Venezuela, en las empresas de ICP, Schlumberger y CBM Exploración y Producción. También ha desarrollado y aplicado modelos geomecánicos para predicción de arenamiento y selección del esquema de completacion. Desde 2016, se desempeña como geomecánica para YPF.S.A en campos de desarrollo NOC en Neuquén, en el cual su función es buscar soluciones a los problemas relacionados con la estabilidad mecánica de la roca durante las operaciones de perforación y estimulación.

Leonardo Federico Vergara (*leonardo.vergara@ypf.com*)

Geólogo en la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2011. En 2012 trabajó como Geólogo de Control Geológico en la compañía Well Log SRL en campos ubicados en cuenca Neuquina. En 2013 ingresó a YPF y se desempeñó como Geólogo Operativo en el Yacimiento Los Perales, en cuenca del Golfo San Jorge, operado por YPF S.A. Actualmente trabaja como Geomecánico *semi senior* en el desarrollo de campos No Convencionales de YPF S.A. de la cuenca Neuquina, donde impulsa y promueve la aplicación de Monitoreo de derrumbes durante la perforación para la evaluación de estabilidad de pozo en Vaca Muerta y realiza estudios geomecánicos del subsuelo para yacimientos Convencionales. Actualmente trabaja como Geomecánico en YPF.S.A.

Raúl Alejandro Varela *(raul.a.varela@ypf.com)*

Licenciado en Geología, Universidad de Buenos Aires, Argentina, 2010.
En 2005 fue becario en el Servicio Geológico Minero Argentino, en 2007 se desempeñó como geólogo en Desarrollo de Prospectos Mineros y 2008 continúo como geólogo en Desarrollo de Prospectos Minero. Comenzó la carrera de especialización en geomecánica en el año 2010 cuando ingresó a Schlumberger S.A. en la cual se desempeñó como geomecánico para Argentina-Bolivia-Chile, en el año 2014 ingresó a YPF S.A. para continuar su carrera en la especialidad y abarcar otros conocimientos. Trabajó en diversos proyectos, comenzando con reservorios no convencionales en el año 2010, realizando los primeros modelos para Loma Campana. También realizó estudios de estabilidad de perforación y mapas de perforación, para la cuenca neuquina, cuenca de Tarija en Bolivia y pozos Extended Reach en cuenca Austral entre otros proyectos. Desde 2014 a la actualidad trabaja como Geomecánico en YPF.S.A.

Hugo Gustavo Tarrés (*gustavo.tarres@ypf.com)*

Geólogo, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2002.
Inició su actividad como geólogo de control geológico en Geopatagonia y Net-log en la Cuenca del Golfo San Jorge. En el año 2005 ingresa a Total Austral S.A, desempeñándose como geólogo wellsite y Operation Geologist en la Cuenca Neuquina. Actualmente se desempeña como Geólogo de Desarrollo semi senior en YPF S.A. Lleva más de 2 años y medio trabajando en campos de desarrollo No Convencional, en la perforación de pozos horizontales.

Rodrigo Arnaldo Escobar (*rodrigo.a.escobar@ypf.com)*

Geólogo, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, 2012.
En 2013 ingresó a YPF SA como Geólogo Operativo en el Yacimiento Campamento I – UN Neuquén Gas. Desde 2014 hasta la actualidad se desempeña como Geólogo Desarrollo en el Activo Loma Campana – UN No Convencional.