

ANÁLISIS DE EVENTOS DE PERFORACIÓN. UNA METODOLOGÍA PARA UN ESTUDIO GEOMECÁNICO INTEGRAL

Hasbani, José Gabriel; Vicentini, Franco Andrés; Varela, Raúl Alejandro – YPF S.A.

jose.g.hasbani@ypf.com; franco.vicentini@ypf.com; raul.a.varela@ypf.com

Sinopsis

Un estudio geomecánico con el objetivo de determinar una ventana de perforación consta de varios pasos. Dentro de estos pasos se encuentra la recopilación y estudio de la calidad de la adquisición de los datos (perfiles de pozo, ensayos de presión dinámica y eventos de perforación). Los eventos de perforación son, ni más ni menos, los reportes diarios de todos los hechos que ocurrieron durante la perforación y contienen una cantidad de información que no sólo es invaluable a la hora de tomar decisiones sino que a su vez es de muy bajo costo. Mediante técnicas computacionales de análisis de datos se puede maximizar la información extraída de estos reportes minimizando el tiempo invertido en la lectura de los reportes. En el caso de disponer de una buena cantidad de muestras (pozos) cercanas a la zona de interés se puede determinar en forma empírica una ventana de perforación. El objetivo de este trabajo es exponer una metodología para realizar este tipo de análisis de manera rápida y que permita al usuario disponer de forma visual de todos los eventos relacionados al comportamiento de la roca durante la perforación.

1 Introducción

La lectura y análisis de los reportes de perforación es una tarea diaria tanto para un Geomecánico como para un Ingeniero de Perforación. Un reporte de perforación es una descripción de los hechos que ocurrieron en una cierta fecha, a una cierta hora y a su vez contiene información sobre las propiedades físicas del lodo utilizado, configuración del BHA (*Bottom Hole Assembly*), datos de la trayectoria del pozo, entre otros datos adicionales.

La lectura de los reportes de perforación con un enfoque geomecánico tiene como objetivo la identificación de cualquier suceso (evento) que se pueda considerar anómalo asociado al comportamiento mecánico de la pared del pozo y las presiones de lodo en el pozo.

La información obtenida del análisis se utiliza para la calibración final de un estudio geomecánico y, cuando se dispone de un número de pozos significativo, además permite determinar una ventana operativa de manera empírica.

Sin embargo, realizar esta tarea de manera manual consume demasiado tiempo y aumenta la probabilidad de cometer errores ya sea por omisión y/o repetición muy comunes en este tipo de tareas y que llevan a conclusiones erróneas.

Es el objetivo de este trabajo exponer una metodología sistemática que permita minimizar los tiempos de análisis, los errores y que también permita maximizar la información extraída de los reportes. Siguiendo esta línea de razonamiento, este trabajo se divide en tres partes: la primera parte tiene como objetivo definir los eventos que se buscan en los reportes de perforación y categorizarlos; en la segunda parte se detalla la metodología utilizada para la sistematización de los análisis y se condensa la información en una serie de gráficos especializadas que faciliten la visualización de los eventos y análisis de los mismos con un enfoque global sobre el comportamiento del pozo; finalmente en la tercera parte de este trabajo se exponen las diferentes aplicaciones de esta metodología y un estudio real realizado en un bloque en pre-desarrollo de YPF S.A.; finalmente se presentan las conclusiones y posibles desarrollos futuros.

2 Eventos de perforación

Antes de comenzar con la definición y categorización de los eventos de perforación, es muy importante definir primero el concepto de “ventana de perforación” o “ventana de lodo”. La definición y categorización de los eventos de perforación se encuentra fuertemente ligada a este concepto dado que son justamente estos eventos, junto a otros datos, los que permiten la calibración final de un estudio geomecánico.

2.1 Ventana de perforación

En la literatura existe una gran cantidad de trabajos y bibliografía donde se trabajan los conceptos de estabilidad de pozo (E. Fjær et. al. 2008, M. D. Zoback 2007, Varela et. al. 2015). Para poder comprender el concepto de “ventana de perforación”, es necesario entender primero el rol del lodo en la perforación de los pozos.

Durante la perforación de un pozo se remueve un gran volumen de roca el cual debe reemplazarse por un material que contenga las paredes del pozo. Una de las principales funciones del lodo de perforación es la contención de la pared del pozo, además de cumplir la función de lubricar y refrigerar el trépano durante la perforación y como agente de transporte de los recortes a superficie. Dentro de todas las propiedades físicas del lodo, para definir la ventana de perforación se adopta la densidad. Si durante la perforación del pozo la densidad del lodo es demasiado baja se pueden producir los siguientes fenómenos (Figura 1.a):

1. Derrumbe de la pared del pozo.
2. Influjos de hidrocarburos o de agua de formación al pozo.
3. Ambas a la vez.

Sin embargo, si la densidad del lodo de perforación es demasiado alta (Figura 1.b), la presión puede ser tal que se generen zonas en las que los esfuerzos locales excedan la resistencia de la roca y, por lo tanto, se generará una fractura hidráulica perdiendo lodo en la formación afectada. Una situación similar se puede dar en formaciones con alta permeabilidad.

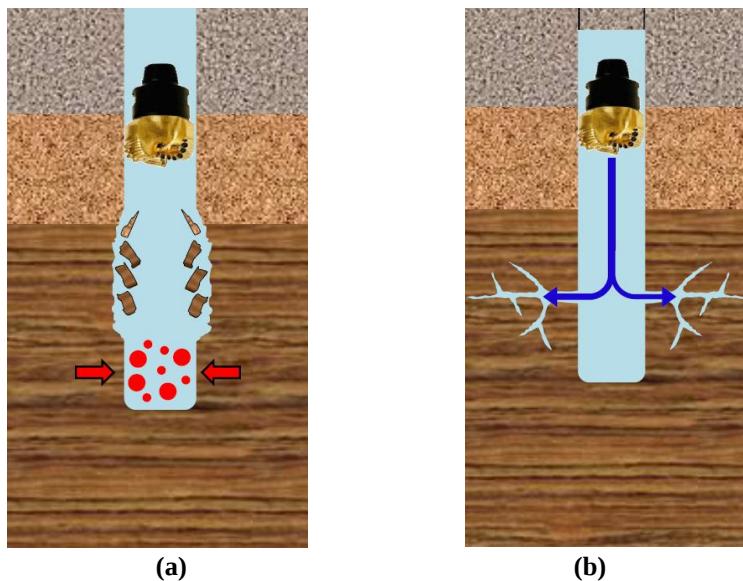


Figura 1. (a) Problemáticas asociadas a un bajo peso de lodo (colapso e influjos). **(b)** Problemáticas asociadas a un alto peso de lodo (pérdidas)

De esta manera, se define la ventana de perforación (Figura 2) como un rango de densidades de lodo que garantice la integridad mecánica de la pared del pozo, la contención hidráulica de los fluidos de la formación y finalmente no fracture la formación.

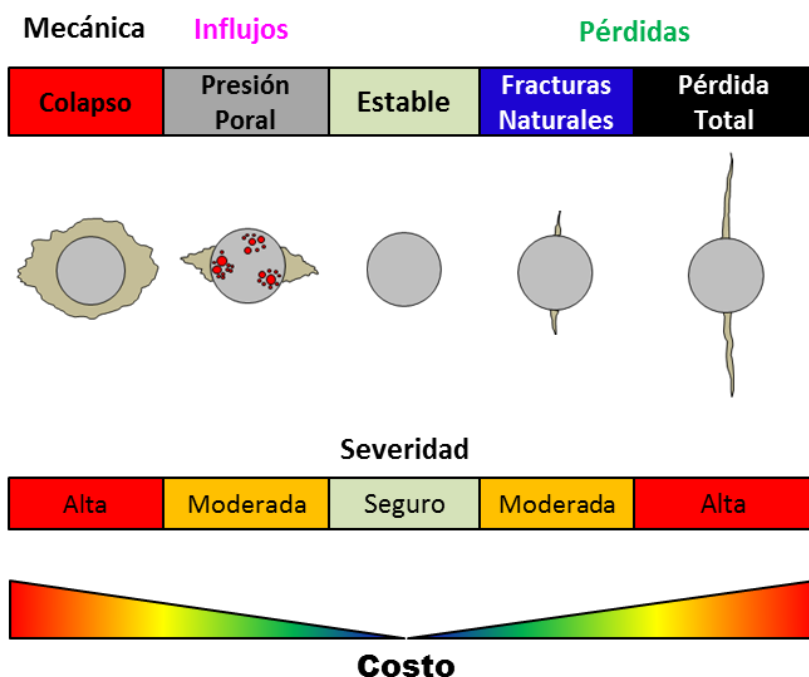


Figura 2. Ventana de perforación. Severidad y costos.

2.2 ¿Qué se busca en los reportes diarios de perforación?

A partir de la definición de ventana de perforación se puede enfocar la lectura de los reportes diarios a la búsqueda de diferentes indicadores que permitan comprender la respuesta del pozo durante la perforación y de esta manera establecer límites operativos para la ventana de perforación.

Lo que se busca en los reportes es lo siguiente:

- Sucesos que sean indicadores de la *respuesta mecánica* de la formación durante el proceso de perforación.
- Sucesos que sean indicadores de la *presión de formación*.
- Sucesos que sean indicadores del estado de *esfuerzos actuales*.

Los diferentes indicadores se encuentran asociados a diferentes palabras claves dentro de los reportes y son estas palabras las que se buscan durante su lectura. A continuación se muestra un listado de las diferentes palabras claves y se las clasifica en tres grupos según la naturaleza del evento que representen.

2.2.1 Eventos mecánicos

Los eventos mecánicos están asociados a la respuesta mecánica de la pared del pozo durante la perforación. Estos eventos pueden ser indicadores de reacción química entre la formación y el lodo utilizado (hinchamiento de arcillas con lodos base agua), indicadores del estado de esfuerzos (anisotropía de esfuerzos) y resistencia de la roca. Las palabras clave que se utilizan para reportar estos eventos se encuentran asociadas a la maniobra que se está realizando en ese momento en el pozo. Las maniobras que se considerarán en este trabajo son: maniobras de bajada (tuberías,

herramienta de perfil, trépano en maniobra de calibre), perforación y maniobras de sacada (tuberías, herramienta de perfil y trépano). Las palabras clave que identifican a los eventos mecánicos son:

Asentamiento (set-up): imposibilidad de pasar una determinada zona del pozo debido a una disminución considerable del diámetro, obstrucción, irregularidad (escalonamiento), tortuosidad o cambio abrupto de la inclinación o dirección [alto DLS (Dog Leg Severity)].

Resistencia: fuerza contraria al sentido de desplazamiento de las herramientas o cañerías que dificulta el movimiento de estas dentro del pozo. Es generada principalmente por la fricción entre las superficies en contacto con las paredes del pozo.

Aprisionamiento (stuck pipe): evento que se presenta cuando una herramienta o tubería no puede ser rotada y/o desplazada en ninguna dirección dentro del pozo.

Empaquetamiento: evento producido por la disminución del área de flujo del espacio anular debido a cerramiento de pozo, limpieza ineficiente de los recortes de perforación o derrumbes el cual genera un incremento de presión por directa y puede darse asociado a incremento en el torque y arrastre.

Embolamiento: compactación y deshidratación de arcillas plásticas sobre la superficie del trepano las cuales se adhieren y consolidan a este cubriendo parcial o totalmente las zonas de corte y/o canales de evacuación de los recortes disminuyendo drásticamente la tasa de penetración o hasta impidiendo totalmente continuar la perforación.

Arrastre: fuerza evidenciada debido a la fricción entre las superficies de las herramientas o tubería en contacto con las paredes del pozo al desplazarse dentro o fuera de este. En la practica el arrastre sacando se calcula como la diferencia entre el valor del peso de la herramienta rotando fuera de fondo y el peso de la misma mientras es desplazada fuera del pozo. Y el arrastre bajando se calcula como la diferencia entre el valor del peso de la herramienta rotando fuera de fondo y el peso de la misma mientras es desplazada dentro del pozo.

Traccionamiento: fuerza adicional al valor de arrastre esperado para una determinada profundidad. Se evidencia como un incremento de la fricción generada entre las superficies de las herramientas o tubería en contacto con las paredes del pozo al desplazarse saliendo de este. Eventos como cerramiento de pozo, derrumbes o limpieza ineficiente del pozo generan mayores superficies de contacto que incrementan considerablemente la fricción o generan acuñaientos esto implica tener que aplicar mayor tensión que la esperada.

Derrumbe/Colapso: evento evidenciado cuando la roca que sale del pozo no corresponde en forma ni volumen al recorte generado por el trepano para la tasa de perforación obtenida. También puede suceder al realizar maniobras de calibre o durante la bajada de cañería donde el volumen de roca que sale del pozo al circular no corresponde en cantidad ni forma a la que debería generarse para la operación que se está realizando.

Abundante Cutting: evidenciado cuando por zaranda se observa una cantidad de cutting o recortes de perforación que no se corresponden con el avance obtenido ni con la operación actual, puede suceder en los casos donde una ineficiente limpieza de pozo permitió acumular cutting dentro del pozo y este es evacuado circulando un bache de limpieza, tapón viscoso o fluidos de mayor densidad o simplemente incrementando el caudal.

2.2.2 Eventos hidráulicos

Los eventos hidráulicos se encuentran íntimamente relacionados con la presión de formación y la densidad de lodo utilizada. Las palabras clave utilizadas para reportar estos eventos también se encuentran relacionadas con el tipo de maniobra que se está realizando en ese momento en el pozo. Las maniobras que se considerarán en este trabajo son: maniobras de bajada (tuberías, herramienta de perfil, trépano en maniobra de calibre), perforación y maniobras de sacada (tuberías, herramienta de perfil y trépano). La identificación de los eventos hidráulicos, sin embargo, se encuentra sesgada por la primera manifestación que se observó en el pozo dado que luego de ese punto, es muy difícil discernir, sobre el tramo abierto del pozo, si hubo una nueva manifestación o es una manifestación antigua que volvió a aportar utilizando sólo la información que se encuentra en los reportes diarios de perforación. Las palabras clave que identifican a los eventos hidráulicos son:

Influjo de agua/petróleo/Gas: ingreso de fluidos de formación hacia el pozo debido a que la presión de formación supera la presión estática o dinámica generada por el fluido de inyección a una determinada profundidad.

Pega diferencial [API RP 54]: Imposibilidad de rotar o mover la sarta o cañería debido a que la presión en el anular es mayor a la presión de formación lo que genera un efecto succión contra la formación sobre una superficie determinada del pozo.

2.2.3 Eventos de estado

Los eventos de estado son aquellos que permiten entender tanto el estado de esfuerzos actuales como la resistencia de la roca. Las palabras clave utilizadas para reportar estos eventos también se encuentran relacionadas con el tipo de maniobra que se está realizando en ese momento en el pozo. Las maniobras que se considerarán en este trabajo son: maniobras de bajada (tuberías, herramienta de perfil, trépano en maniobra de calibre), perforación y maniobras de sacada (tuberías, herramienta de perfil y trépano). La identificación de los eventos hidráulicos, sin embargo, se encuentra sesgada por la primera manifestación que se observó en el pozo dado que luego de ese punto es muy difícil discernir, sobre el tramo abierto del pozo, si hubo una nueva manifestación o es una manifestación antigua que volvió a presentarse utilizando sólo la información que se encuentra en los reportes diarios de perforación. Las palabras clave que identifican a los eventos hidráulicos son:

Pérdida/Admisión parcial: evento donde el fluido de inyección migra a las formaciones permeables debido a que la presión anular es mayor a la de formación retornando a superficie menor volumen que el bombeado.

Pérdida/Admisión total: evento donde todo el fluido de inyección que se bombea migra a las formaciones debido a que la presión anular es mayor a la de formación no retornando a volumen a superficie. Puede darse en formaciones con alta permeabilidad primaria y/o secundaria, fracturadas o fisuradas o donde se exceda el valor de fractura de la roca.

FIT (Formation Integrity Test) [API RP 59]: prueba de integridad de formación, en el cual se lleva a cabo un bombeo dentro de la zona de linealidad de la curva de presión vs volumen hasta un valor previamente establecido sin alcanzar el punto de inflexión.

LOT (Leak Off Tests) [API RP 59]: prueba de admisión, bombeo que se lleva a cabo hasta la pérdida de la linealidad de la curva de presión vs volumen bombeado que indica el comienzo de la deformación plástica de la formación.

XLOT (Extended Leak Off Test) [API RP 59]: prueba de admisión por un periodo determinado de tiempo, coincide con el LOT en que se busca la apertura de una micro fractura en la formación y se diferencia de aquel en que una vez obtenida la misma, se prolonga la prueba por un periodo determinado de tiempo que permite conocer la presión de propagación de la fractura.

3 Sistematización del análisis de eventos. Metodología

3.1 Generalidades

El análisis de eventos de perforación es una tarea rutinaria dentro de un análisis geomecánico de uno o varios pozos, como también en la visualización de antecedentes y riesgos desde el punto de vista de la Ingeniería de Perforación. Debido al gran volumen de información que se debe analizar, el análisis manual de los eventos es una tarea que consume mucho tiempo y a su vez puede contener errores de naturaleza humana durante este proceso. La sistematización de esta tarea tiene la ventaja de generar no solo datos robustos que ayuden a entender y a prever problemas en pozos cercanos a la zona de análisis, sino también la fácil visualización de las principales problemáticas para poder tomar decisiones a la hora de mejorar la performance durante la perforación de los pozos. A su vez, esta metodología es aplicable tanto para pozos verticales como para pozos horizontales.

El desarrollo de esta herramienta se realizó utilizando una planilla Excel® a la que se la nutre de algoritmos de búsqueda y diccionarios implementados en VBA® (Visual Basic). La elección de esta plataforma de trabajo se realizó analizando la portabilidad y distribución de la herramienta para su uso con la ventaja de que la interfaz con el usuario ya se encontraba resuelta por el propio entorno Excel®.

Para facilitar la visualización y el análisis posterior de los resultados, se adoptó la estandarización de Varela et. al. 2015, Figura 2 para la identificación de los diferentes eventos de perforación mediante símbolos y se la extendió y modificó para abarcar mayores casos y para brindar una mayor claridad al analista. La Figura 3 muestra la nueva simbología adoptada.

Clase	Símbolo	Descripción	Maniobra Típica
Mecánico	●	Resistencia	Bajada
	■	Asentamiento	Bajada
	■	Tracción	Sacada
	■	Aprisionamiento	Sacada
	◆	Arrastre	Sacada
	◆	Derrumbe	Perfora/Bajada/Sacada
	◆	Embolamiento	Sacada
	■	Empaquetamiento	Perfora/Bajada/Sacada
Hidráulico	▲	Influjo Hidrocarburo	Perfora/Bajada/Sacada/Ensayo
	▲	Influjo Agua	Perfora/Bajada/Sacada/Ensayo
	■	Gasificación	Perfora/Bajada/Sacada/Ensayo
	□	Pega diferencial	Perfora/Bajada/Ensayo
Estado	▼	Pérdida/Admisión parcial	Perfora/Bajada/Sacada/Ensayo
	▼	Pérdida/Admisión total	Perfora/Bajada/Sacada/Ensayo
	◆	FIT	Ensayo
	◆	LOT	Ensayo
	◆	XLOT	Ensayo

Figura 3. Simbología utilizada para la visualización de eventos

3.2 Metodología. Análisis de eventos para un pozo

La metodología aplicada para el análisis de un solo pozo consta de tres pasos:

1. Carga de datos.

En esta etapa se introducen los datos necesarios para realizar el análisis: planilla de lodos, sección de pozo (datos de las tuberías y profundidad de los zapatos), reportes diarios de perforación, columna estratigráfica y registro direccional (cuando se disponga del dato) (Figura 4).

2. Proceso.

En esta fase, se realiza la búsqueda de las palabras clave dentro de los reportes de perforación mediante un algoritmo de búsqueda binaria que compara la palabra detectada con las diferentes palabras clave guardadas en una estructura de datos de tipo diccionario (Figura 4). La búsqueda binaria es un algoritmo que realiza búsquedas sobre listas parciales de la lista original de elementos subdividiendo refinando cada vez más el intervalo de búsqueda hasta llegar al valor deseado. La ventaja de este algoritmo es que el tiempo de búsqueda es mucho menor en comparación con una búsqueda secuencial clásica (M. Goodrich et. al. 2003).

3. Post proceso.

Finalmente en esta etapa, el usuario valida el procesamiento realizado (Figura 4).

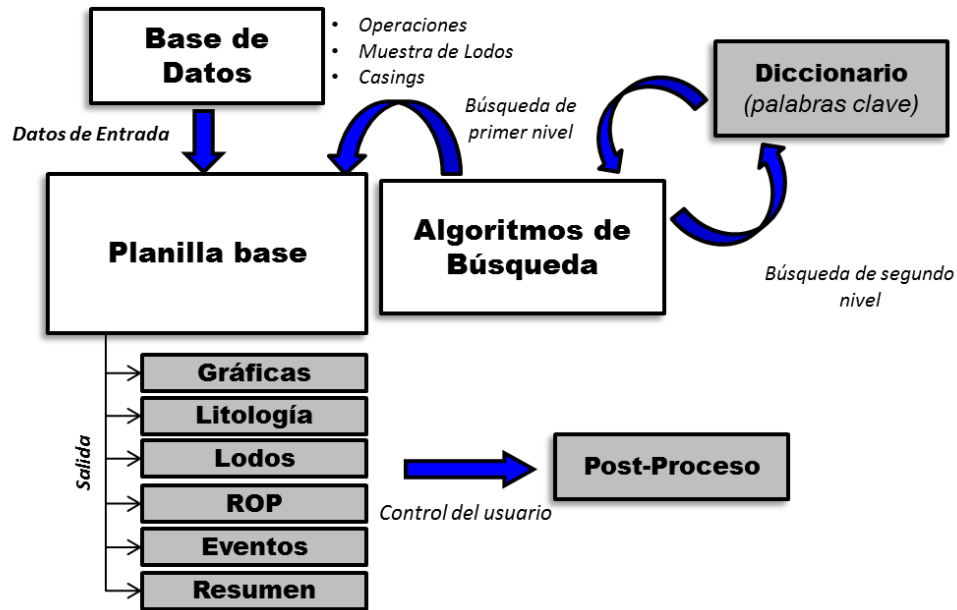


Figura 4. Diagrama de interacción de los diferentes módulos. Análisis para un solo pozo.

El resultado final del análisis consta de una serie de gráficos especializados que permiten la rápida visualización de las diferentes problemáticas que ocurrieron durante la perforación del pozo y un listado de los eventos con su descripción, la densidad de lodo utilizada, la maniobra y los tiempos insumidos para mitigar el problema (Figura 5).

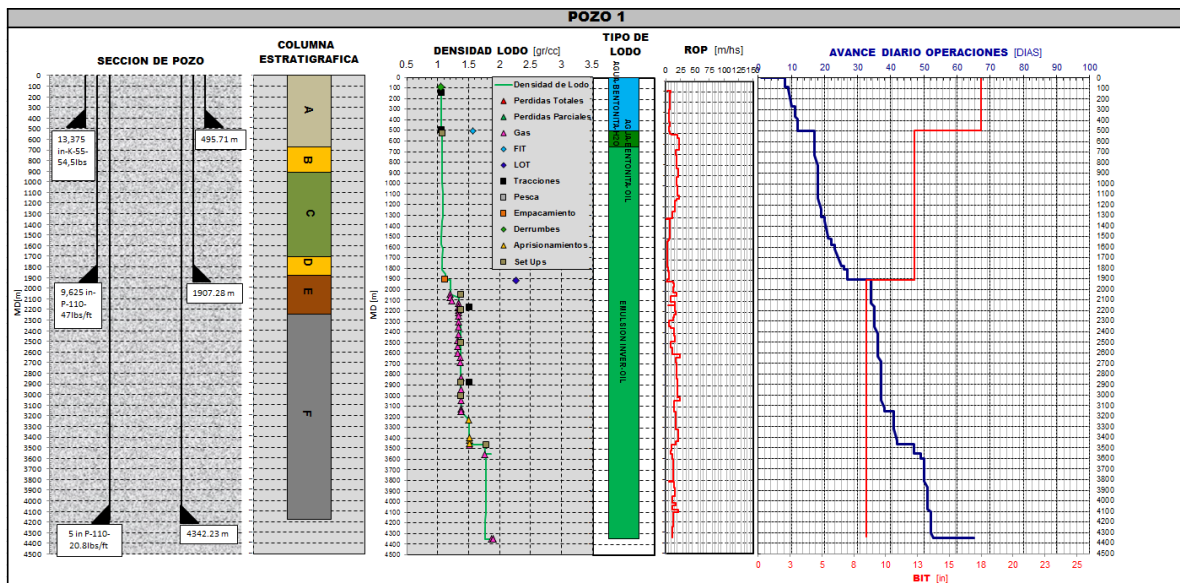


Figura 5. Ejemplo de resultado del análisis de eventos. Track 1-Sección del pozo, Track 2- Columna estratigráfica, Track 3-Densidad de lodo en g/cm³ y eventos de perforación, Track 4-Tipo de lodo, Track 5- ROP instantánea, Track 6-Avance diario de operaciones (azul), BIT (rojo).

3.3 Metodología. Análisis de eventos de una serie de pozos.

Una vez desarrollada la herramienta de análisis para cada pozo, una mejora que se implementó posteriormente fue la capacidad de realizar el análisis de varios pozos de manera simultánea. Esta nueva capacidad permite el análisis de un gran volumen de pozos y de esta manera optimizar el tiempo cuando la finalidad del análisis es investigar antecedentes en la zona de estudio o construir una base de datos para realizar un estudio estadístico.

Para realizar el análisis secuencial de pozos, se implementó un *gestor de pozos* con el objetivo de generar automáticamente un proyecto conformado por todos los pozos de interés para el análisis y en cada uno de estos pozos generar la planilla correspondiente para su análisis. El análisis para una serie de pozos consta de los mismos tres pasos descritos anteriormente con la diferencia que en la etapa de procesamiento el gestor de pozos toma el control de la ejecución de cada una de las rutinas de búsqueda para cada pozo. En la Figura 6 se muestra el diagrama de operación e interacción entre el gestor de pozos y la planilla de análisis de eventos.

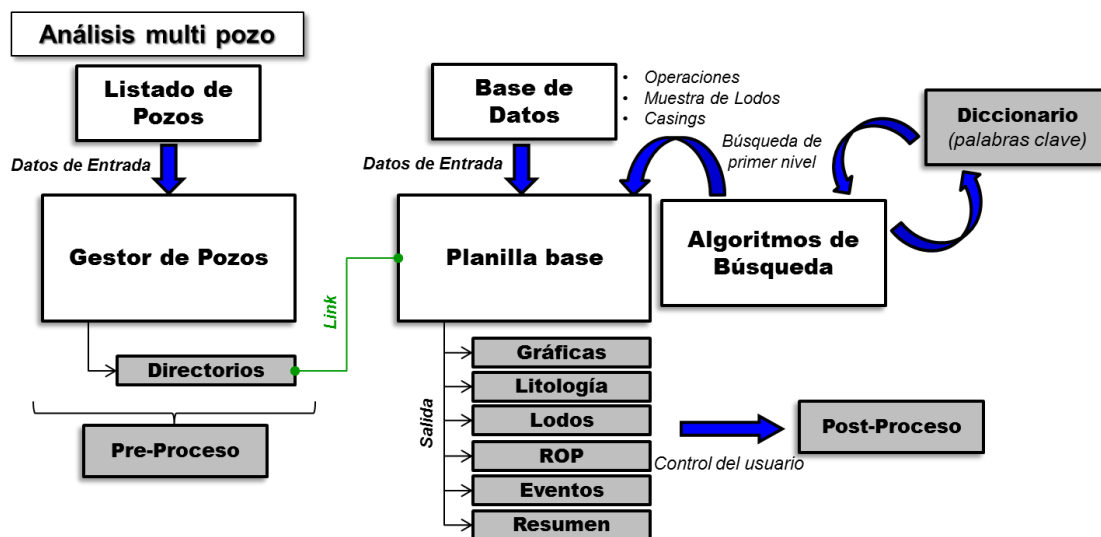


Figura 6. Diagrama de interacción entre el gestor de pozos y la planilla de análisis de eventos.

4 Aplicaciones

Dado el grado de sistematización de esta metodología, los resultados del análisis se pueden aplicar a diferentes estudios con alcances distintos:

4.1. Calibración de un estudio geomecánico:

Uno de los resultados de un estudio geomecánico es la ventana de perforación, que se construye con una serie de cálculos representados por curvas como: presión de formación, presión de colapso, esfuerzo mínimo y presión de rotura todos ellos llevados a densidad equivalente. Los eventos de perforación permiten al analista ajustar y determinar el grado de representatividad de sus cálculos con lo que realmente le ha ocurrido al pozo en estudio durante su perforación. De esta manera se logra un mayor grado de confiabilidad en las estimaciones que se realicen para pozos futuros.

4.2. Análisis de riesgos:

Realizando un análisis de una cantidad suficiente de pozos cercanos o en la zona de interés se puede realizar un análisis de riesgo en lo que respecta a los problemas observados durante la perforación de los pozos tomados como muestra. De esta manera mediante gráficos de probabilidad y severidad se estiman los riesgos y se analizan las posibilidades de mitigación de las problemáticas consideradas como críticas para la perforación de pozos en la zona.

4.3. Ventana de perforación empírica:

De la misma forma que en un análisis de riesgos, del análisis de una cantidad suficiente de pozos se infiere una ventana de perforación empírica teniendo en cuenta las densidades de lodo máxima, promedio y mínima utilizada en las diferentes secciones o formación atravesadas durante la perforación junto a los eventos reportados.

4.4. Seguimiento de pozos:

Durante la perforación de un pozo, es una buena práctica realizar el seguimiento de los sucesos ocurridos durante toda la operación. De esta manera, el analista puede actualizar el su modelo en tiempo real. Dada la velocidad de procesamiento de la herramienta presentada en este trabajo, se puede realizar el seguimiento en simultáneo de una serie de pozos y de esta manera prever posibles problemas (cuando se cuenta con un pronóstico basado en un análisis geomecánico) y dar las recomendaciones pertinentes para su mitigación.

A continuación se presenta un caso real de un bloque de YPF. S.A. en etapa de pre-desarrollo con objetivo a la formación Vaca Muerta donde se aplicó esta metodología. El análisis se realizó considerando 19 pozos verticales y 35 pozos horizontales dando un total de 54 pozos todos perforados en el período 2008-2016. Para todos se realizó el análisis de eventos de perforación lo que permitió realizar los siguientes estudios de forma rápida y sistemática:

- Cuantificación los tiempos no productivos (NPT) debido a problemas de origen geomecánico.
- Estudio de riesgos para la columna estratigráfica completa con el fin de identificar las principales problemáticas y mitigarlas.

Análisis de NPT:

En la Figura 7 se ha graficado en un diagrama de tortas con la distribución de tiempos durante la fase de pre-desarrollo del bloque. Se observa que aproximadamente un 10% del tiempo total de perforación fueron NPTs debido a problemáticas relacionadas a la geomecánica. Para este análisis se han agrupado a los eventos observados en 4 grupos principales:

1. Tiempo insumido en manejo de problemas mecánicos.
2. Tiempo insumido en la mitigación/tratamiento de pérdidas.
3. Tiempo insumido en el manejo de influjos (Hidrocarburos/Agua de Formación).
4. Tiempo insumido en un tramo perforado pero no entubado (Tramo perdido).

El NPT debido a tramo perdido se observa principalmente en los pozos horizontales e incluye pérdida de la rama horizontal debido a algún problema operativo que dificulta la entubación de la fase aislación o asentamiento del zapato del casing antes de la profundidad final programada. De este análisis se desprende que dentro de los NPTs los más relevantes son los debidos a los Influjos y a los problemas mecánicos.

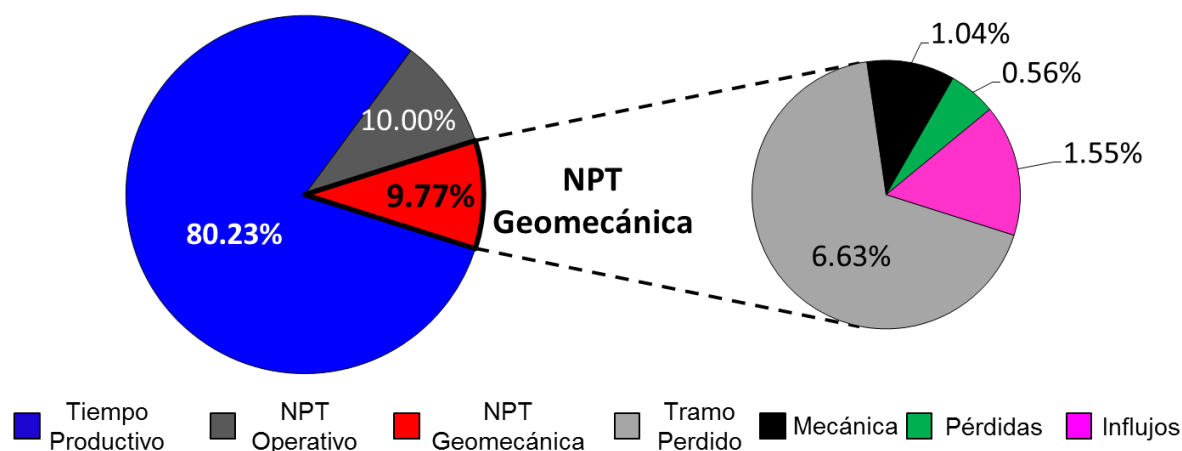


Figura 7. Distribución de NPTs para el bloque en estudio.

Análisis de Riesgos:

Teniendo en cuenta el análisis de NPTs se ha realizado un estudio de riesgos dividiendo a la columna estratigráfica en dos zonas:

- Zona Superior: Gr. Neuquén – Fm. Centenario – Fm. Mulichinco
- Zona Inferior: Fm. Quintuco – Fm. Vaca Muerta – Fm. Tordillo.

Para este análisis se define al riesgo con la siguiente ecuación

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Severidad} \quad \text{Eq. 1}$$

donde la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

$$\text{Probabilidad} = \frac{\sum \text{eventos}}{\text{pozos totales}} \quad \text{Eq. 2}$$

y la severidad se estima mediante

$$\text{Severidad} = \frac{\sum \text{tiempo mitigación}}{\text{tiempo efectivo}} \quad \text{Eq. 3}$$

El tiempo de mitigación es el tiempo necesario para controlar o sobrellevar el problema en cuestión y el tiempo efectivo es el tiempo total productivo (tiempo de perforación).

En la Figura 8 se muestran las gráficas de probabilidad/severidad de los eventos ocurridos en la zona superior y se observan que los problemas a solucionar con mayor urgencia son las *pérdidas* (riesgo alto) y los *problemas mecánicos* (riesgo moderado).

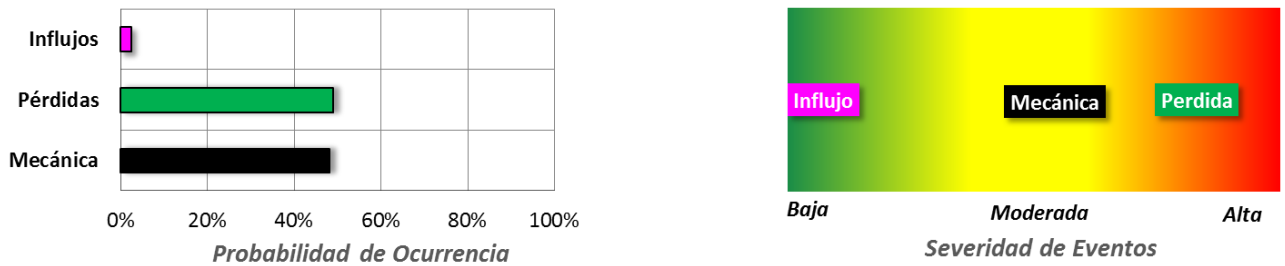


Figura 8. Análisis de riesgo zona superior.

En la Figura 9 se muestra el análisis de riesgos para la zona inferior del cual se desprende, análogamente al caso anterior, que los problemas más relevantes son los *Influjos* (riesgo alto) y los *problemas mecánicos* (riesgo moderado).

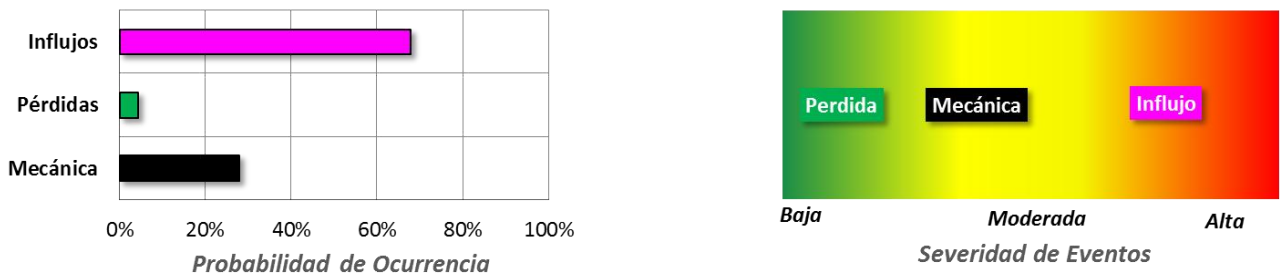


Figura 9. Análisis de riesgo zona inferior.

De los resultados obtenidos tanto del análisis de NPTs como el análisis de riesgo se decidió trabajar sobre los influjos y los problemas mecánicos dado que las pérdidas en la zona superior se debían a la permeabilidad de las formaciones atravesadas y su mitigación es objeto de otra especialidad. Mediante un análisis de las densidades de lodo utilizadas durante la perforación de los pozos involucrados en el estudio, se logró disminuir la cantidad de influjos en la zona inferior de un 52 % a un 4 % (Figura 10) y se halló la densidad más adecuada (1920 g/l) para poder perforar pozos en esta área en la posterior fase de desarrollo.

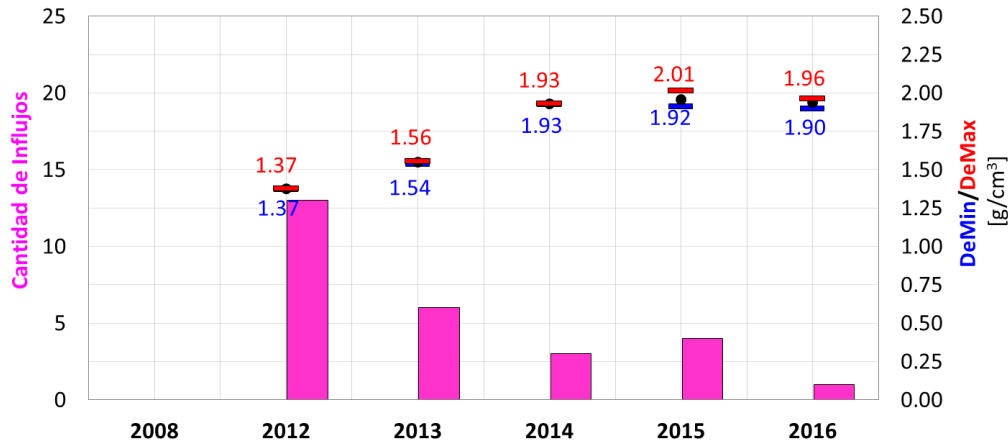


Figura 10. Análisis de densidad de lodo y frecuencia de influjos histórica.

De esta manera se logró una reducción del costo normalizado por pozo de un 10% de sobrecosto a un 1% (Figura 11). Finalmente, comparando el año 2012 con el año 2016, se observa una mejora en la performance de perforación dado que en el 2016 se han perforado mayor cantidad de pozos con el menor sobrecosto histórico.

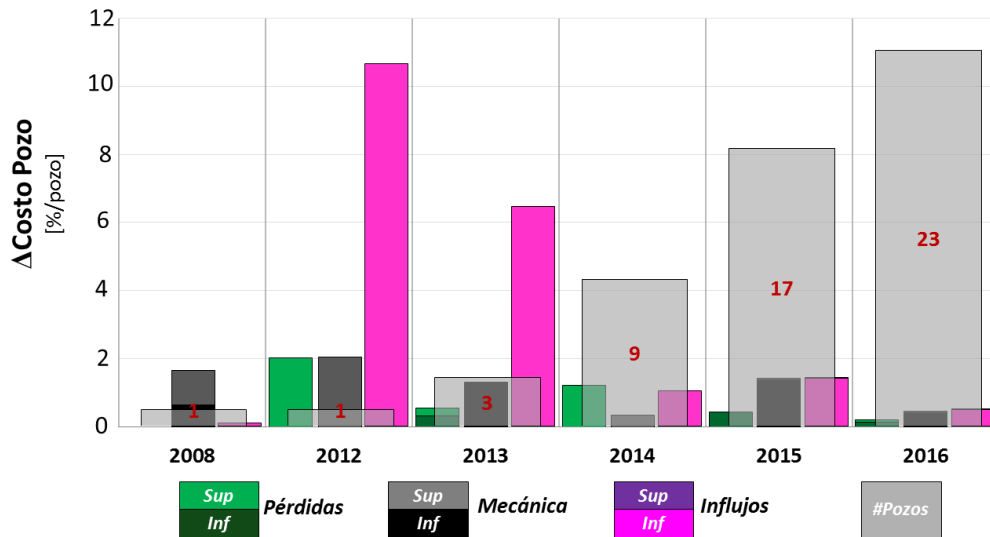


Figura 11. Sobrecosto histórico debido a problemas relacionados con la geomecánica.

5 Conclusiones y trabajos futuros

A modo de conclusión, realizando un análisis de esta metodología se pueden observar diferentes ventajas y desventajas

Las ventajas son:

- **Estandarización:** al estandarizar mediante símbolos y nombres diferentes problemáticas en los pozos se logra un lenguaje común entre las diferentes especialidades generando un análisis final más homogéneo.

- **Optimización y retroalimentación:** mediante la implementación de un algoritmo de búsqueda binaria, se logra una mayor performance en los tiempos de análisis de los eventos. Con el diccionario de palabras clave como estructura de datos se logra una mayor flexibilidad a la hora de buscar eventos y a su vez una homogeneización del criterio de selección en cuanto al léxico utilizado para la descripción de un mismo evento.
- **Trabajo volumétrico:** la implementación de un gestor de pozos que ejecute el análisis individual de los pozos permite atacar grandes volúmenes de información de manera sistemática y simultánea. De esta manera se optimizan los tiempos de análisis en trabajos en donde se requiera analizar una gran cantidad de pozos ya sea para evaluar performance, riesgos o simplemente para la visualización de antecedentes en la zona de interés.

Sin embargo, existen una serie de desventajas a tener en cuenta:

- **Limitaciones del entorno:** dado que la herramienta se implementó en Excel® con VBA®, el entorno gráfico de este paquete de por sí consume memoria dinámica. Este factor actúa en detrimento a los tiempos de proceso que deberían consumir los algoritmos de búsqueda en comparación con una misma implementación en otro entorno. A su vez, es conocido que el entorno Excel® posee una limitación con la cantidad de datos que se pueden almacenar en sus planillas lo que podría ser una limitación para pozos cuyo grado de avance durante la perforación sea muy prolongado.
- **Análisis subjetivo:** los datos que sirven de entrada para esta metodología son los reportes de las operaciones que se realizan en el campo. Es decir, que cualquier dato que se reporte se encuentra sesgado por una sobre interpretación u omisión. Por este motivo es de suma importancia llevar la estandarización de los reportes al campo para evitar subjetividad en los datos.

Teniendo en cuenta esta metodología, una posible línea de trabajo futuro sería desarrollar una herramienta que permita realizar un mapeo de los diferentes grupos de eventos y observar tendencias en el área de la zona de estudio, calcular probabilidades de ocurrencia y predecir posibles riesgos. Otra línea de trabajo consiste en el desarrollo de una herramienta que permita la identificación sistemática de problemáticas durante las operaciones de Work Over con el fin de relacionar la respuesta del pozo durante y luego de la perforación.

Finalmente, dada la limitación del entorno Excel con VBA, se observa la necesidad de cambiar la interfaz por una desarrollada en un lenguaje de programación más robusto.

Referencias

Nobuo Morita, SPE, Waseda University, 1995. Uncertainty Analysis of Borehole Stability Problems. SPE305012. <http://www.iadclexicon.org/>.

M. D. Zoback. Reservoir Geomechanics, 2007. Cambridge University Press, ISBN: 978-0-521-77069-9.

E. Fjær, R. M. Holt, O. Horsrud, A. M. Raaen, R. Risnes, 2008. Petroleum related rock Mechanics. 2nd Edition. Elsevier ISBN: 978-0-44-50260-5.

M. T. Goodrich, R. Tamassia, Michel H. Goldwasser, 2013. Data Structures And Algorithms in Python, Wiley, ISBN: 10987654321.

R. A. Varela, G. Berkovic, L. Latorre, F. de Borja, 2015. Estudio integrado para solución de estabilidad de perforación y terminación; Cañadon Amarillo, Mendoza, Argentina. IAGP

API RP 54, Recommended Practice for Occupational Safety for Oil and Gas Well Drilling and Servicing Operations.

API RP 59 Recommended Practices for Well Control Operations.

Resumen de carrera de los Autores

José Gabriel Hasbani (jose.g.hasbani@ypf.com)



2015-Actualidad - Geomecánico YPF S.A.
2011-2015 - Ingeniero de proyectos en SIM&TEC S.A.
(www.simytec.com).
2005-2011 - Ingeniero Civil Universidad de Buenos Aires.

Comenzó la carrera de especialización en geomecánica en el año 2015 cuando ingresó a YPF S.A. Trabajó en diversos proyectos relacionados a la estabilidad de perforación para el grupo de Pilotos NOC y dando soporte a otras áreas.

Franco Andrés Vicentini (franco.vicentini@ypf.com)



2017- Actualidad - Ingeniero de Perforación Desarrollo YPF - Mendoza
2015 - 2016 - Ingeniero de Perforación Exploración YPF - BsAs
2013 - 2014 - Ingeniero de Perforación Desarrollo YPF - Las Heras
2011 - 2012 - Company Man Perforación YPF – Comodoro Rivadavia.
2010 - Ingeniero Industrial Universidad Nacional de la Patagonia SJB.

Comenzó la carrera de Ingeniero de Perforación en el año 2010 cuando ingresó a YPF S.A., en el año 2010 como Nuevo Profesional. Trabajó en diversas ubicaciones físicas comenzando en Comodoro Rivadavia como Company Man para luego desempeñarse como Ingeniero de Perforación de Desarrollo en Las Heras Sta. Cruz y actualmente en Mendoza. Desempeñándose también como Ingeniero de Perforación para Exploración Argentina en BsAs.

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



2014- Actualidad - Geomecánico YPF
2010-2014 - Geomecánico Argentina-Bolivia-Chile Schlumberger S.A.
2008-2010 - Geólogo en Registros Mineros Argentinos
2007-2008 - Geólogo en Desarrollo de Prospectos Mineros
2005-2007 - Becario Servicio Geológico Minero Argentino
2002-2010 - Licenciado en Geología Universidad de Buenos Aires

Comenzó la carrera de especialización en geomecánica en el año 2010 cuando ingresó a Schlumberger S.A., 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.