

## DEPLETACIÓN DE POZOS EN YACIMIENTO AGUADA PICHANA - NEUQUÉN

Fuoco Pablo / Marín Anahí, Weatherford / Total Energies, [pablo.fuoco1@weatherford.com](mailto:pablo.fuoco1@weatherford.com) / [anahi.marin@totalenergies.com](mailto:anahi.marin@totalenergies.com)

### Sinopsis

El propósito de este trabajo es mostrar los resultados reales del efecto de la depletación de pozos durante las operaciones en conjunto de Weatherford MPD (Managed Pressure Drilling) con la operadora Total Energies.

Mediante el uso de esta técnica se ha logrado disminuir la presión poral de los puntos de influjo con el beneficio asociado del uso de menores densidades de kill mud en los rollover ( ahorro de costos), manejo de menores presiones durante la operación ( disminución en pérdidas de lodo y cuidado en la integridad del zapato) y reducción en la probabilidad de incorporación de gas en el espacio anular durante los viajes a superficie.

La metodología implementada puede variar en dos maneras completamente distintas. La primera es la depletación estática, trabajando durante las conexiones modificando el tiempo de pozo abierto con el análisis de los fondos arriba durante toda la perforación y, en segundo lugar, se puede trabajar depletando la presión dinámicamente, permitiendo el ingreso controlado de gas al espacio anular al punto de encontrar el equilibrio perfecto que permita la quema constante de gas sin obtener una disminución contraproducente de la columna hidrostática que genere entrar en un descontrol de pozo ( condición UBD (Underbalanced Drilling)).

Los resultados obtenidos durante el trabajo de depletación se van siguiendo y registrando en tiempo real mediante los valores de ESD obtenidos en cada nueva conexión, registrando la tendencia en el comportamiento, pero sobre todo observando el comportamiento de la medida de caudal de flujo de gas en la línea del flare para cada nuevo BU (bottoms up) de conexión.

El valor resultante del trabajo se obtendrá una vez finalizada la perforación y alcanzada la profundidad objetivo, comparando el valor de presión del punto de control al manifestarse con el valor de dicha profundidad luego de realizar un Build Up Test con el anular limpio y homogéneo.

## Introducción

El siguiente trabajo analizará el efecto de la depletación en la sección de producción, la cual perfora 4,200 m de pozo descubierto (1,200 m en la sección vertical y curva, y 3,000 m de rama horizontal), atravesando las formaciones Quintuco y Vaca Muerta, que se encuentran en un régimen de sobrepresión. Estratigráficamente, las facies de Quintuco cambian de facies ricas en clásticos a facies más carbonatadas.

Mediante la aplicación de esta técnica, ha sido posible reducir la presión de poro en los puntos de ingreso de fluidos, utilizar lodos de control con densidades menores durante los rollovers (lo que se traduce en ahorros de costos), gestionar presiones operativas más bajas (reduciendo las pérdidas de lodo y mejorando la integridad del zapato), y disminuir la probabilidad de entrada de gas en el espacio anular durante los viajes a superficie. Todo esto tiene un impacto directo en la operación, optimizando los tiempos de perforación/circulación y la integridad del pozo.

Se evaluaron e interrelacionaron de manera inteligente dos escenarios: la depletación estática y dinámica.

La primera involucra el depletamiento estático, que se ejecuta durante las conexiones, modificando el tiempo de “pozo abierto”, respaldado por el análisis de los datos de bottoms-up a lo largo de la fase de perforación. El gas puede ingresar al pozo de manera controlada (tanto en volumen como en tiempo), y ser evacuado durante la perforación.

El segundo enfoque es el depletamiento dinámico, que permite una entrada controlada de gas en el espacio anular para alcanzar un equilibrio óptimo —uno que permite el venteo continuo sin causar una caída contraproducente en la presión de la columna hidrostática que pueda resultar en un evento de control del pozo (condición UBD).

Esta técnica de perforación se logra registrando el proceso de depletamiento minuto a minuto, monitoreando y registrando continuamente en tiempo real, mediante el análisis de los valores de Densidad Estática Equivalente (ESD) registrados en cada nueva conexión, identificando tendencias de comportamiento, y especialmente observando el caudal de gas y su evolución en la línea de venteo durante cada nuevo ciclo de bottoms-up.

## Desarrollo

Para el análisis de la técnica de depletación se utilizarán los datos obtenidos del pozo AP-1103(h) del yacimiento Aguada Pichana en la provincia de Neuquén donde, debido a la gran porosidad de las zonas de aporte, se obtuvo gran cantidad de gas en superficie durante los fondos arriba de las paradas de bomba necesarias para realizar las conexiones/agregadas de los nuevos tiros de drill pipe durante la perforación.

Posteriormente a haber desarrollado el programa de perforación MPD con los datos y puntos de relevancia de los pozos vecinos, se desarrolla el plan a llevarse a cabo para la perforación exitosa del pozo en cuestión. Se calibran los sistemas de control MPD, se realizan las pruebas de integridad de casing, se rota cemento de la etapa previa y se realiza la prueba integridad de formación (FIT) para posteriormente comenzar a perforar la etapa de producción, en este caso de 6  $\frac{3}{4}$ ”.

Como se puede observar, en las siguientes imágenes al comenzar la perforación de la etapa de producción dentro de la formación Quintuco, se encuentra un punto de aporte manifestándose a través de un aumento del flujo de salida por coriolis. Desde ese momento, en situación estática producto de la desaparición del efecto de fricción se comienza a manifestar el aumento de presión en los cierres de pozo durante conexiones con su correspondiente aporte de gas en los BU de las conexiones.

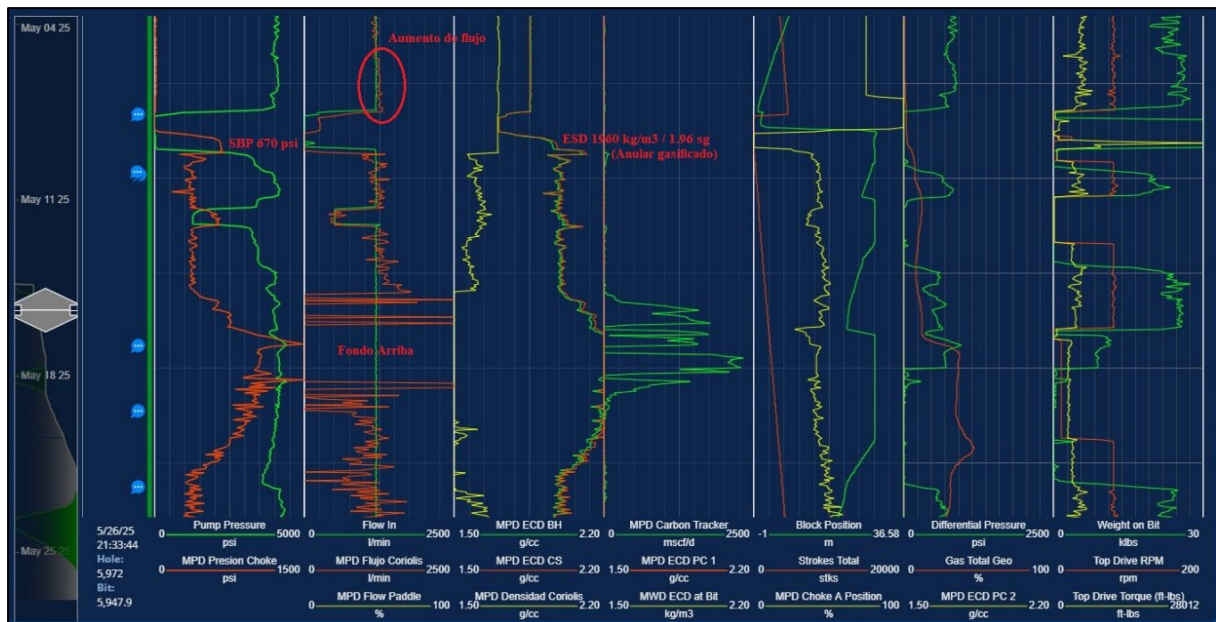


Imagen 1: Influjo etapa producción

Al tener el espacio anular gasificado producto del aporte del pozo, se obtuvo inicialmente una ESD de 1960 Kg/m<sup>3</sup>, no siendo la misma representativa por no contar con una densidad homogénea en todo el pozo.

Con el fin de determinar correctamente la presión poral del punto, se realiza un Build Up Test una vez homogenizada la columna anular.

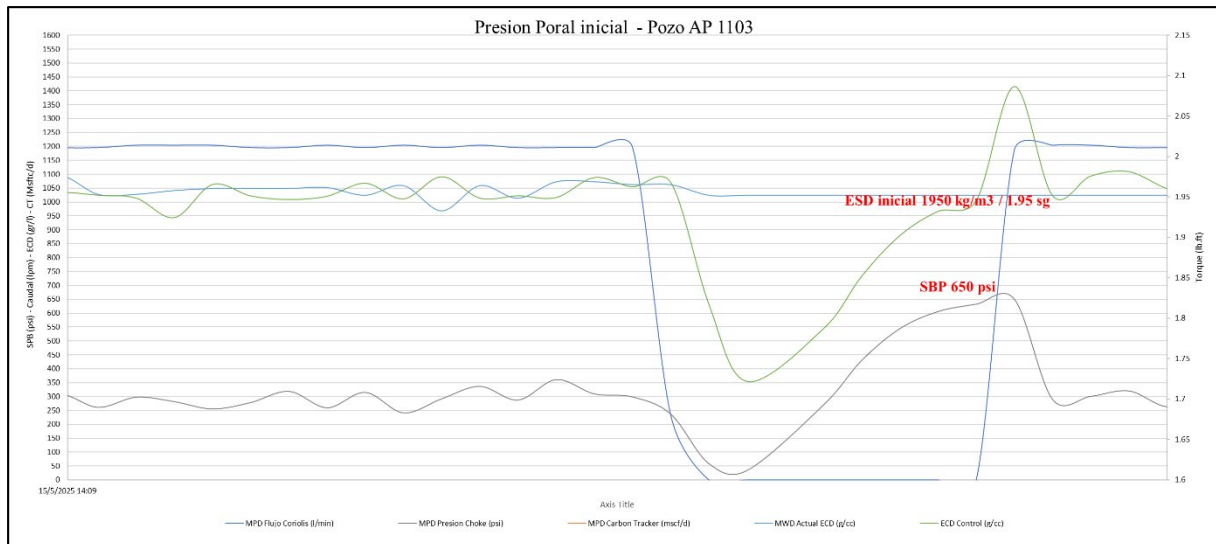


Imagen 2: Build Up Test inicial

Ya con la presión poral definida, se comienza a trabajar con el proceso de depletación con el fin de reducir la misma, previo a tener que realizar el ahogue de pozo ( rollover a Kill Mud).

Para llevar a cabo esta técnica se trabaja según procedimientos previamente elaborados y acordados entre las partes de la siguiente manera:

### Depletación dinámica

1. Avisar a perforador y disminuir SBP aplicada en choke MPD, de manera de bajar la equivalente del PC en 0.05 sg – 50 kg/m3.
2. Resetear emboladas, tanto de cabina MPD como de Perforador. Reiniciar contadores de volúmenes-Ganancias de todas las empresas con dicha herramienta disponible.
3. Mantener nueva SBP en choke MPD, monitoreando caudal de salida de Coriolis, ganancias de volúmenes, Paleta de Flujo MPD y SPP.
4. Volver a la SBP de control una vez que se observe una ganancia de 1 m3 en piletas o hayan pasado 30 minutos (lo que ocurra primero).
5. Nuevamente con SBP de control, controlar y circular burbuja de gas a superficie, quemando el gas en fosa de quema.
6. Repetir pasos 1 a 5 para continuar con depletación de pozo en dinámico. Si con bajar la equivalente en 0.05 sg no se observa aumento del caudal de salida/ganancia en piletas, o si bien durante los 30 minutos de espera se observa poca ganancia en piletas, analizar generar una diferencia mayor de equivalente bajando aún más la SBP, teniendo en cuenta los posibles riesgos de derrumbes y aprisionamiento de herramienta que puedan ocurrir. También se puede coordinar un mayor tiempo de ganancia en piletas. Acordar nuevos parámetros de depletación entre las partes involucradas.

## Depletación estática

Para depletar el pozo durante conexiones, se realizará el método de Cierre Blando Modificado.

1. Cuando el perforador solicite detener bombeo para realizar conexión, confirmar que puede detener la bomba en su totalidad.
2. Con bomba detenida, iniciar Virtual Trip Tank en Victus (VTT) o llevar control por piletas.
3. Cerrar pozo con choke MPD al observar 300 L de ganancia en VTT o cuando hayan pasado 30 segundos (lo que ocurra primero). Monitorear aumento de presión de conexión.
4. Dejar evidencia del volumen de ganancia durante la conexión mientras se tenía el pozo abierto y el tiempo de choke abierto.
5. Cuando el perforador solicite colocar bomba para retomar perforación, confirmar que puede hacerlo y abrir el choke de acuerdo con la presión acumulada. Dejar evidencia de la SBP máxima observada durante la conexión y la ESD generada en PC.
6. Continuar perforando, controlando el desalojo de la burbuja de gas en superficie. Medir caudal de quema de fondo arriba en sensor ultrasónico de MPD.
7. Repetir pasos 1 a 6 para las siguientes conexiones. Si la quema de gas medida en sensor ultrasónico MPD no supera los 1000 Mscf/day, aumentar el tiempo de conexión 30 segundos más y el volumen máximo de ganancia durante conexión medido en VTT 300 L más, siendo los valores límites máximos de ambos parámetros 120 segundos y 1000 L, respectivamente.

Habiendo mencionado las técnicas de depletación anteriores, se considerará para pozos con cambios de Bottom hole Assembly (BHA) en LP una combinación de ambas metodologías. Utilizando el caso dinámico para la primera etapa ( Vertical y Curva) por la poca cantidad de conexiones presentes en el tramo y la depletación estática para la perforación de la rama horizontal por el gran número de conexiones sumado al menor riesgo asociado de derrumbes de pozo o efectos de pack off.

Comenzando con el proceso de depletación mediante los pasos asociados se debe prestar especial atención al efecto de la contaminación forzada del espacio anular para evitar un descontrol de pozo por contaminación y expansión excesiva del gas. Además de llevar un buen registro de la maniobra mediante tablas y curvas de parámetros.

| DEPLETACION                         |                                                                    |             |                           |             |                 |                 |  |       |       |       |     |          |                                 |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------|-------------|-----------------|-----------------|--|-------|-------|-------|-----|----------|---------------------------------|
|                                     | CICLO                                                              | Hora inicio | Vol. Geología             | Vol. Pileta | SBP perforación | SBP Depletación |  | 10min | 10min | 10min | CT  | Hora Fin | Ganancia de volumen             |
| Ciclos realizados en tramo vertical | 1                                                                  | 10:10       | 79.8                      | 78.7        | 250             | 120             |  | 0.2   | 0     | 0.2   | 350 | 11:35    | 400 litros final en 25min       |
|                                     |                                                                    | 11:17       | normalizo el fondo arriba |             |                 |                 |  |       |       |       |     | 11:45    |                                 |
|                                     | 2                                                                  | 11:50       | 78.1                      | 78.1        | 250             | 120             |  | 0     | -0.1  | 0.6   | 553 | 11:20    | 500L por Geo y 700 L por pileta |
|                                     |                                                                    | 12:20       | normaliza fondo arriba    |             |                 |                 |  |       |       |       |     | 14:30    |                                 |
|                                     | 3                                                                  | 14:35       | 71.6                      | 71.2        | 280             | 120             |  | -0.3  | 0.3   | 0.3   | 746 | 15:05    | 300L por geo y pileta           |
|                                     |                                                                    | 15:05       | normaliza fondo arriba    |             |                 |                 |  |       |       |       |     | 15:47    |                                 |
|                                     | 4                                                                  | 15:50       | 70.2                      | 16:48       | 300             | 120             |  | 0.1   | 0.2   | 0.5   | 441 | 16:20    | 1.1m3 por pileta                |
|                                     |                                                                    | 16:26       | normaliza fondo arriba    |             |                 |                 |  |       |       |       |     | 16:50    |                                 |
|                                     | 5                                                                  | 16:54       | 69.8                      | 69.4        | 350             | 120             |  | 0     | 0     | 0.5   | 376 | 17:24    | 500 L por Geo                   |
|                                     |                                                                    | 17:25       | normaliza fondo arriba    |             |                 |                 |  |       |       |       |     | 17:48    |                                 |
|                                     | Se acuerda nueva metodología por corte de 1[m3] de ganancia o 1 hs |             |                           |             |                 |                 |  |       |       |       |     |          |                                 |
|                                     | 6                                                                  | 17:53       | 69.1                      | 68.5        | 340             | 120             |  | 40min | 40min | 40min |     |          |                                 |
|                                     |                                                                    | 20:10       | normaliza fondo arriba    |             |                 |                 |  | 0.1   | 0.1   | 0.4   | 378 | 20:10    | Gano 600 It por geología        |
|                                     |                                                                    | 20:50       | 79.2                      | 79.4        | 340             | 60              |  | 40min | 20min |       |     | 20:50    |                                 |
|                                     | 7                                                                  | 20:50       | 79.2                      | 79.4        | 340             | 60              |  | 0.4   | 0.2   |       | 343 | 21:50    | Ganancia por pileta 600 It      |
|                                     |                                                                    | 21:50       | normaliza fondo arriba    |             |                 |                 |  | 30min | 30min |       |     | 22:25    |                                 |
|                                     | 8                                                                  | 22:25       | 77.3                      | 77.1        | 300             | 60              |  | -0.4  | 0.7   |       | 245 | 23:30    | Gano 700 It por geología        |
|                                     |                                                                    | 23:30       | normaliza fondo arriba    |             |                 |                 |  | 20min | 20min |       |     | 00:00    |                                 |
|                                     | 9                                                                  | 00:00       | 67.5                      | 67.7        | 300             | 60              |  | 0.2   | 0.8   |       | 311 | 00:40    | Gano 1m3 por geología           |
|                                     |                                                                    | 00:40       | normaliza fondo arriba    |             |                 |                 |  | 20min | 20min | 20min |     | 01:05    |                                 |
|                                     | 10                                                                 | 06:50       | 75.6                      | 76.1        | 300             | 20              |  | 0.4   | 0.4   | 0.2   | 372 | 07:43    | Gano 1m3 por geología           |
|                                     |                                                                    | 07:44       | normaliza fondo arriba    |             |                 |                 |  | 10min | 10min | 10min |     | 08:23    |                                 |
|                                     | 11                                                                 | 08:35       | 75.4                      |             | 300             | 22              |  | 0.5   | 0.1   | 0.5   | 362 | 09:05    | Gano 1m3 por geología           |
|                                     |                                                                    | 09:08       | normaliza fondo arriba    |             |                 |                 |  | 10min | 10min | 10min |     | 09:30    |                                 |
|                                     | 12                                                                 | 09:40       | 75.7                      |             | 300             | 22              |  | 0.2   | 0.3   | 0.4   | 328 | 10:20    | Gano 1m3 por geología           |
|                                     |                                                                    | 10:23       | normaliza fondo arriba    |             |                 |                 |  |       |       |       |     | 10:47    |                                 |

Tabla 1: Registro de depletación dinámica

Finalizada la perforación del tramo y circulado el pozo según secuencia de limpieza se realiza un nuevo Build Up Test con el fin de conocer la presión poral del punto de interés trabajado con el

proceso de depletación dinámica y así, definir la densidad de kill mud necesario para ahogar el pozo con el margen de seguridad acordado para realizar el viaje por cambio de herramienta direccional de manera segura.

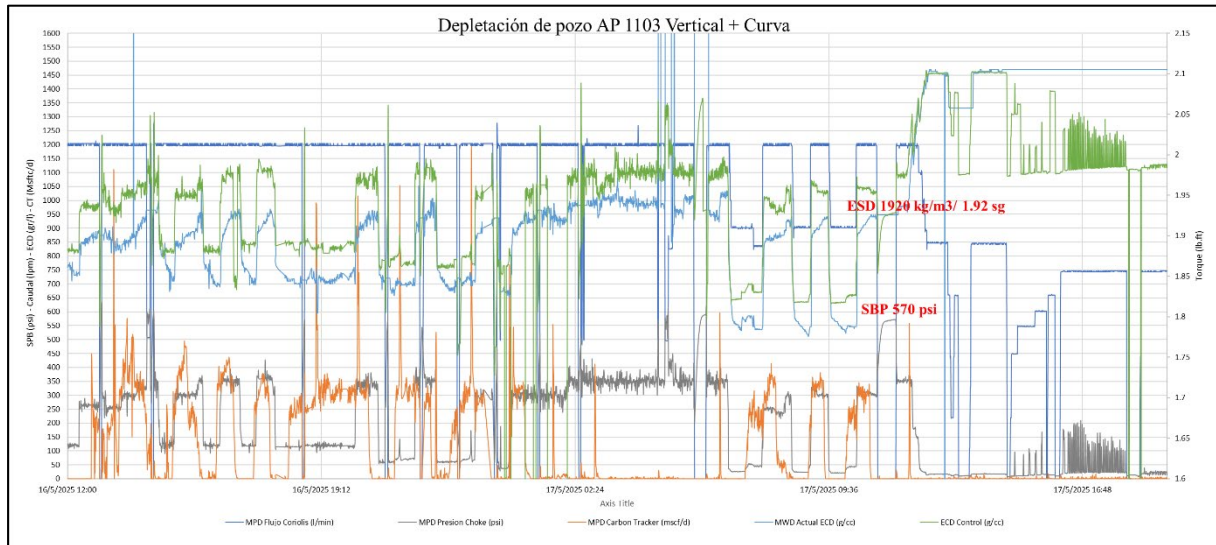


Imagen 3: Build Up Test previo a cambio de BHA

Como se puede observar, si bien la sección vertical y curva no fue de gran longitud, contándose con poca cantidad de paradas de bomba por conexiones, se pudo lograr reducir la presión poral del punto de control en 30 Kg/m<sup>3</sup> – 0.03 sg.

Una vez realizado el rollover a KM y realizado el cambio de BHA direccional, con herramienta en fondo se procede a realizar rollback por lodo de perforación y retomar la perforación.

Durante la perforación de la rama horizontal, se aplicará la técnica de depletación estática, la cual permite con el gran numero de conexiones presentes en el tramo muy buenos resultados con un menor riesgo asociado de descontrol de pozo por contaminación excesiva del espacio anular, eventos de derrumbes, atrapamientos de herramienta o pack off.

Este proceso se realiza según el procedimiento previamente mencionado durante toda la navegación horizontal.

En la siguiente imagen se puede apreciar en rasgos generales como se lleva a cabo el trabajo durante la perforación de este tramo.

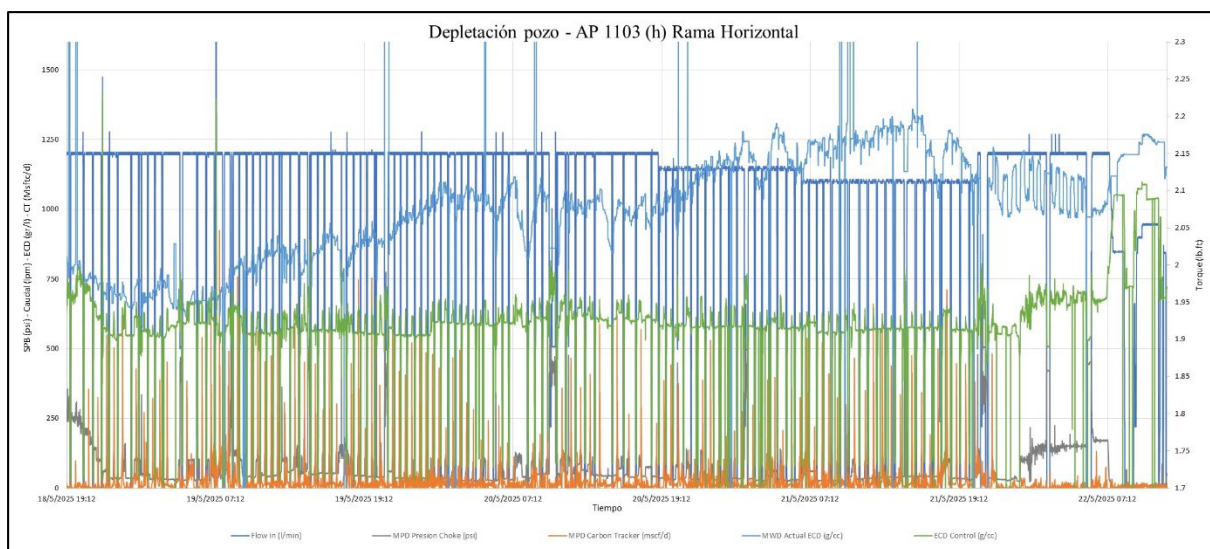


Imagen 4: Depletación estática durante rama horizontal.

Esta metodología debe ser monitoreada con exactitud llevando un estricto control de los parámetros obtenidos durante las conexiones mediante tablas y curvas, tal cual se puede observar a continuación.

| MD   | TVD  | Duración de la Conexión | WHP inicio de conexión | WHP final de conexión | Densidad Entrada | Densidad Coriolis | ESD inicial PCI | ESD Final PCI | Tiempo apertura | Gas de Conexión |
|------|------|-------------------------|------------------------|-----------------------|------------------|-------------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| [m]  | [m]  | [min]                   | [psi]                  | [psi]                 | [sg]             | [sg]              | sg              | sg            | [seg]           | [MSCF/day]      |
| 5203 | 2723 | 4                       | 3                      | 25                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.73          | 150             | 298             |
| 5232 | 2723 | 5                       | 5                      | 31                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.73          | 150             | 259             |
| 5260 | 2725 | 5                       | 2                      | 46                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.74          | 150             | 309             |
| 5289 | 2725 | 4                       | 2                      | 13                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.72          | 150             | 393             |
| 5318 | 2725 | 4                       | 12                     | 84                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.75          | 120             | 259             |
| 5348 | 2724 | 5                       | 2                      | 30                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.73          | 150             | 347             |
| 5376 | 2724 | 5                       | 3                      | 18                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.73          | 150             | 294             |
| 5405 | 2724 | 4                       | 3                      | 11                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.72          | 150             | 631             |
| 5433 | 2724 | 4                       | 3                      | 21                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.73          | 150             | 313             |
| 5462 | 2724 | 4                       | 5                      | 18                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.73          | 150             | 522             |
| 5490 | 2724 | 4                       | 4                      | 32                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.73          | 150             | 511             |
| 5519 | 2724 | 4                       | 10                     | 120                   | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.76          | 150             | 483             |
| 5547 | 2724 | 4                       | 2                      | 135                   | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.77          | 150             | 386             |
| 5577 | 2724 | 4                       | 5                      | 218                   | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.80          | 150             | 457             |
| 5605 | 2724 | 4                       | 10                     | 130                   | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.77          | 150             | 355             |
| 5634 | 2725 | 4                       | 14                     | 154                   | 1.72             | 1.72              | 1.73            | 1.78          | 150             | 683             |
| 5663 | 2725 | 4                       | 11                     | 93                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.75          | 150             | 577             |
| 5691 | 2726 | 4                       | 12                     | 63                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.74          | 150             | 448             |
| 5720 | 2726 | 4                       | 11                     | 35                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.73          | 150             | 404             |
| 5748 | 2727 | 4                       | 20                     | 161                   | 1.72             | 1.72              | 1.73            | 1.78          | 150             | 555             |
| 5777 | 2727 | 4                       | 27                     | 151                   | 1.72             | 1.72              | 1.73            | 1.78          | 150             | 356             |
| 5806 | 2727 | 4                       | 14                     | 58                    | 1.72             | 1.72              | 1.73            | 1.74          | 150             | 232             |
| 5836 | 2727 | 4                       | 25                     | 65                    | 1.72             | 1.72              | 1.73            | 1.74          | 150             | 500             |
| 5865 | 2727 | 4                       | 10                     | 10                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.72          | 150             | 787             |
| 5894 | 2727 | 4                       | 10                     | 43                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.74          | 150             | 452             |
| 5922 | 2727 | 4                       | 9                      | 77                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.75          | 150             | 533             |
| 5952 | 2727 | 4                       | 5                      | 87                    | 1.72             | 1.72              | 1.72            | 1.75          | 150             | 618             |

Tabla 2: Registro de depletación estática en conexiones

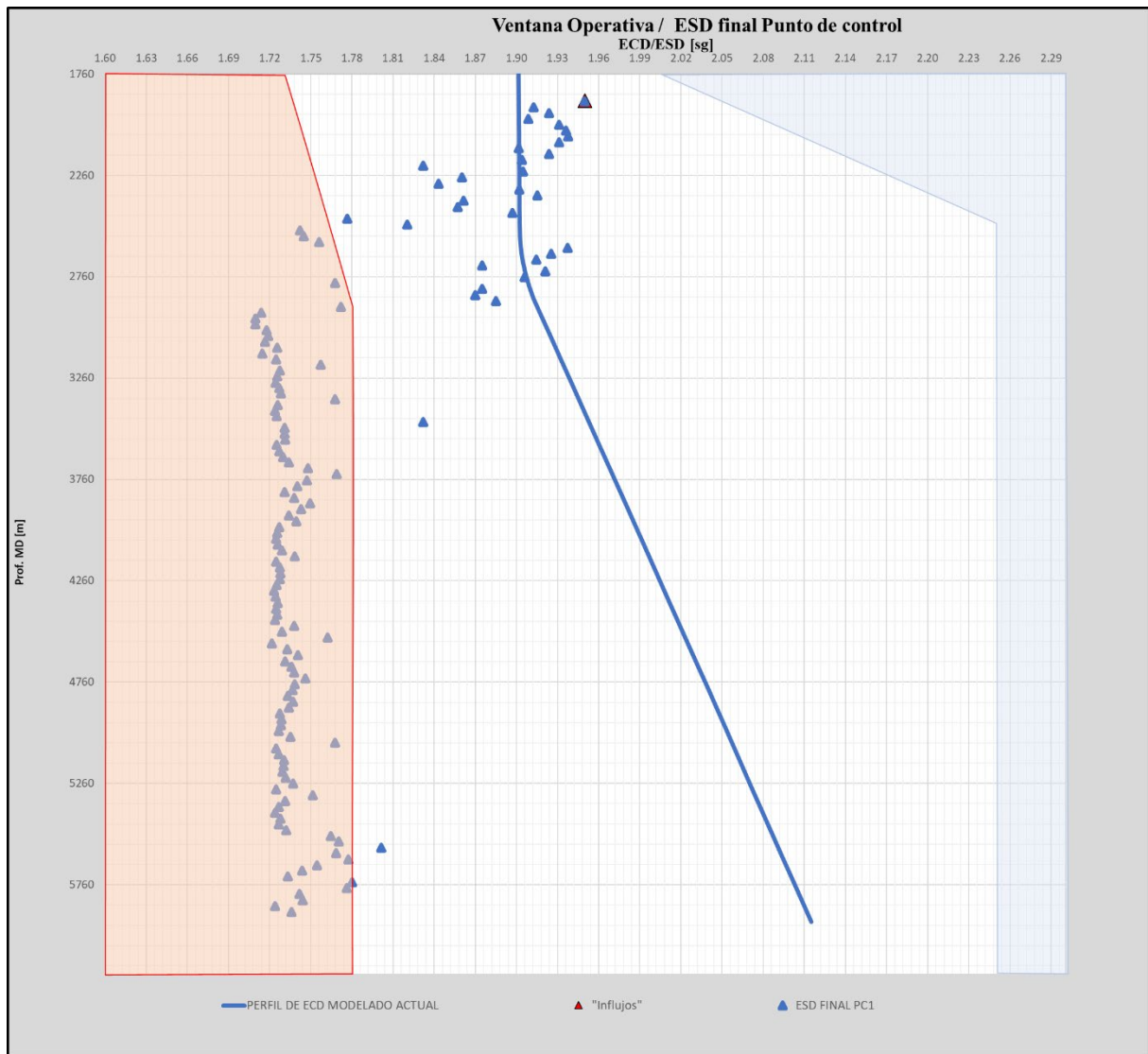


Imagen 5: Curva de valores de ESD en Punto de control

Se debe tener presente en todo momento que los valores registrados de ESD para el punto de control si bien sirven como referencia del proceso de depletación, no representan el verdadero valor de presión poral producto de los cortos tiempos de conexión, no logrando llegar a la estabilización de la SBP previo a retomar circulación para continuar con la perforación del siguiente tiro agregado.

El verdadero valor de presión poral resultante tras el trabajo de depletación, se buscará una vez alcanzada la profundidad final del pozo (TD), realizados los ciclos de limpieza correspondientes y llevado a cabo el Build Up Test final. Paso importante del proceso para la correcta selección y corroboración de la densidad de Kill Mud necesario para el rollover.

En la siguiente imagen se puede apreciar la nueva disminución de presión poral del punto obtenida con la técnica de depletación estática del tramo horizontal.

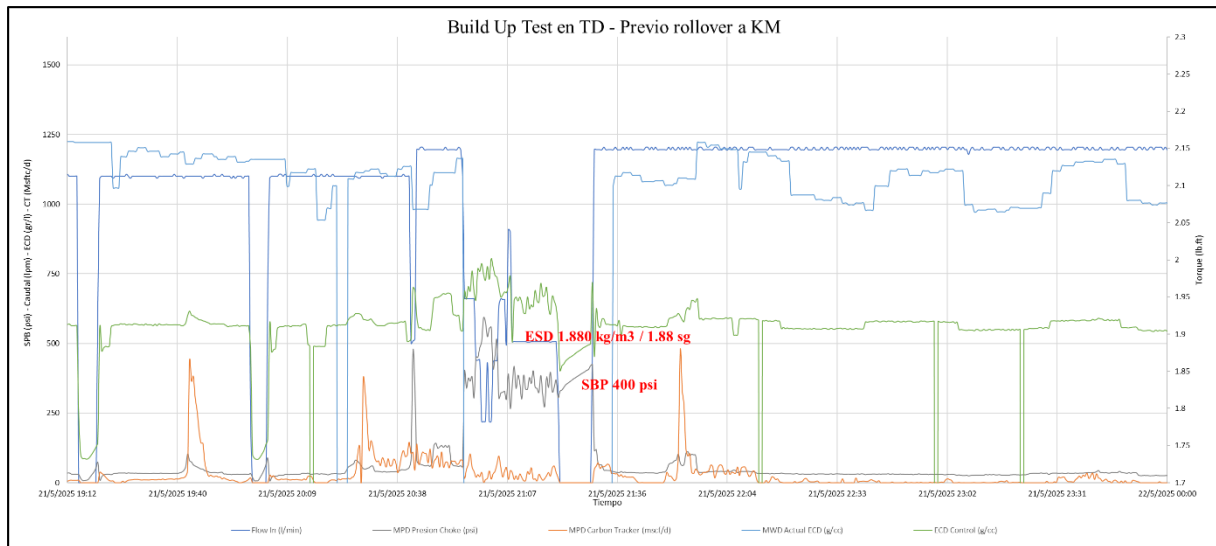


Imagen 6: Build Up Test final

Como se puede observar, mediante la combinación de la depletación estática y dinámica se ha logrado disminuir la densidad estática equivalente del punto de influjo en 70 kg/m<sup>3</sup> o 0.07 sg. De igual manera, reducir la densidad de kill mud necesario para el rollover final en TD en la misma medida.

Como consecuencia de la menor densidad de ahogue utilizada, durante el rollover y cementación del pozo se podrán utilizar caudales más elevados sin superar el valor del FIT o inducir pérdidas en la formación, reducir costos asociados en la preparación de lodo, utilizar mayores velocidades de trip in durante la corrida de casing y utilización de menores presiones de circulación,

## Conclusiones

El proceso de depletación permitió el uso de densidades de lodo de control más bajas, lo que derivó en ahorros significativos en costos y una reducción en las presiones operativas. Adicionalmente, facilitó el manejo de pérdidas de lodo y mejoró la integridad del zapato, un aspecto crítico durante los viajes a superficie. La monitorización en tiempo real y la recopilación continua de datos —tanto de los valores de Densidad Estática Equivalente (ESD) como de la tasa de flujo de gas— permitieron una evaluación y ajuste constantes del comportamiento del pozo. Los resultados observados durante el proceso de agotamiento indicaron la existencia de un equilibrio controlado, evitando caídas excesivas en la presión hidrostática.

La evaluación final de la efectividad del depletamiento se realiza una vez alcanzada la profundidad objetivo y completada la fase de perforación. Se lleva a cabo una prueba de Build-Up a la misma profundidad para comparar las presiones en los puntos de control antes y después del ingreso de gas, lo que permitirá validar la efectividad de la estrategia de depletación implementada.

Este trabajo resalta una combinación innovadora de técnicas de depletación estática y dinámica para optimizar el manejo de la presión de poro durante las operaciones de perforación. La capacidad de controlar el ingreso de gas al espacio anular sin comprometer la integridad del pozo representa una contribución significativa en términos de seguridad y eficiencia para las operaciones con MPD. Este enfoque aporta valor a la industria al demostrar cómo la monitorización en tiempo real y la depletación controlada pueden aplicarse exitosamente para reducir los costos operativos y mitigar riesgos en entornos de perforación desafiantes.

## **Bibliografía**

El trabajo se llevó a cabo con información técnica y real obtenida de la perforación de los pozos en el yacimiento Aguada Pichada de la provincia de Neuquén.

## **CV**

### **Fuoco, Pablo Ezequiel**

- Título y lugar de estudio: Ingeniero Electromecánico, Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Trayectoria: En 2014, me incorporé a Weatherford como parte del Programa para Jóvenes Profesionales, realizando rotaciones por todas las áreas operativas y líneas de producto. Finalmente en 2015, me integré al equipo de MPD como Ingeniero de Campo MPD manejando todos los tipos de tecnologías presentes en la empresa. En 2024, pase al área de soporte desempeñándome con ingeniero de aplicaciones a cargo de los equipos para Tecpetrol y Total Energies.
- Cargo actual en la empresa: MPD Application Engineer.