

AISLACIÓN TÉRMICA DE ESPACIO ANULAR EN POZOS CON SURGENCIA NATURAL

Juan Francisco Martínez, YPF S.A., juan.martinez@ypf.com; Juan Ignacio Alvarez Claramunt, YPF S.A., juan.alvarez.c@ypf.com

Sinopsis

El presente trabajo se enmarca en el yacimiento Loma La Lata Norte, operado por YPF S.A. El mismo se encuentra ubicado a 90 km de la ciudad de Neuquén.

La producción del campo proviene principalmente de la formación Vaca Muerta con más de 30 pozos surgentes de petróleo no convencional (shale oil). Una problemática generalizada del campo es la deposición de parafinas en cañería de producción y líneas de conducción cuando la temperatura de flujo cae por debajo del pour point (alrededor de 32 °C).

Como primera solución a la problemática antes mencionada se procedió a la instalación de un sistema de calentamiento directo mediante cinta calefactora en los primeros 700 m de la cañería de producción consiguiendo temperaturas en boca de pozo cercanas a los 40 °C. Dado que nuestro campo actualmente no se encuentra electrificado, dicho sistema es energizado con generadores eléctricos alimentados por gas oil. Con el crecimiento del desarrollo, el uso de esto conlleva un costo de inversión y de mantenimiento muy alto.

En consecuencia, se evalúa la alternativa de aislar térmicamente el espacio anular, buscando minimizar las pérdidas de calor a lo largo de la tubería de producción. Se realiza una comparación de distintos fluidos, siendo el nitrógeno el que mejores condiciones reúne.

Se llevan a cabo simulaciones a través de un modelo entálpico con datos de entrada que incluyen geometría e instalación de pozo, litología, gradiente geotérmico y propiedades térmicas del fluido aislante entre otras. Los resultados de las mismas fueron muy alentadores, lo que permitió comenzar a diagramar operaciones de campo.

En conjunto con compañías de Servicio, se diseña un programa operativo consistente en el reemplazo del fluido de completación de espacio anular por nitrógeno.

Se realiza un piloto de 6 pozos buscando estudiar la performance de aislación como alternativa al uso de cintas. Se efectúan gradientes dinámicos en conjunto con ensayos de producción en los días posteriores a las operaciones, con el fin de evaluar la efectividad de la aislación y el ajuste del modelo.

La prueba piloto fue exitosa, logrando temperaturas de boca muy similares a las brindadas por las cintas calefactoras y superiores a la temperatura de pour point de parafinas, sin intervenciones de desparafinación de tubing a la fecha.

Se estandarizó la instalación final de producción con espacio anular nitrogenado, logrando una reducción de costos muy importante respecto de la inversión y mantenimiento de las cintas.

Introducción

El presente trabajo se encuentra enmarcado en el Activo Loma La Lata – Loma Campana, el cual se encuentra ubicado al norte de los lagos Marimenuco y Los Barreales, a 90 km de la ciudad de Neuquén. Dicho activo pertenece a la Gerencia de Negocios Neuquén Gas.

Respecto de los datos operativos, el activo cuenta con una producción promedio, al mes de Noviembre de 2012, de 1196 m³/día de Bruta y una neta promedio de 775 m³/día. Actualmente el campo cuenta con 88 pozos productores, de los cuales: 72 son surgentes de gas (objetivo Sierras Blancas) y petróleo (objetivo Vaca Muerta), y los 18 pozos restantes se encuentran con sistema de extracción, principalmente Bombeo Mecánico.

Teniendo en cuenta los fluidos producidos, los ensayos PVT (Presión Volumen Temperatura) realizados sobre nuestros crudos, revelaron que los mismos tienen una fuerte tendencia a la deposición de parafinas, con ventanas de formación que varían entre 30 y 50 °C, lo cual genera graves problemas operativos, sobre todo en invierno cuando se desarrollan las temperaturas más bajas.

La solución inicial que se propuso para resolver dicho problema, fue calefaccionar los primeros 700 metros de cañería de producción por medio de una cinta calefactora, ya que la experiencia muestra que manteniendo una TBDP (temperatura de boca de pozo) superior a los 40 °C, las parafinas no se depositan.

Analizando las ventajas de dicha solución, podemos resaltar la TBDP por encima de los 40°C y la independencia de dicha temperatura del caudal de producción del pozo.

Dentro de las desventajas podemos resaltar el elevado costo de instalación del sistema de calefacción. Además, teniendo en cuenta que nuestro campo no se encuentra electrificado, otras desventajas que se presentan a raíz de esto, son: la instalación de un generador en locación de pozo para alimentar eléctricamente al dicho sistema y el correspondiente consumo de gas oil. Esto genera altos costos en alquiler de equipos y problemas operativos de abastecimiento de combustible.

A continuación se presenta una tabla resumen de las ventajas y desventajas mencionadas:

<u>Ventajas</u>	<u>Desventajas</u>
Mantienen Tbdp por encima de los 40 °C.	Elevada inversión inicial
Tbdp independiente de caudal de producción.	Alquiler de generadores (campo no electrificado)
	Problemas operativos con provisión de gas oil

Tabla 1: Ventajas y Desventajas de sistema de calefacción en Pozos Surgentes

Desarrollo

A partir de las desventajas mencionadas en la introducción de este trabajo, buscando minimizar costos y problemas operativos, se evalúan distintas alternativas para mantener la temperatura del fluido producido en boca de pozo. Dentro de todos los métodos evaluados, se decide centrar el estudio en la aislación de espacio anular del pozo con fluido inerte, de forma de minimizar las pérdidas de calor del fluido producido.

De todos los fluidos evaluados se tienen en cuenta: dióxido de carbono, aire, nitrógeno y una mezcla nitrógeno-argón. Entre todos ellos se comparan propiedades de los mismos, como: conductividad térmica, viscosidad, densidad y poder calorífico, a distintas presiones y temperaturas. Si bien todos los fluidos presentan similares propiedades, se visualiza a la aislación del espacio anular con Nitrógeno como una de las alternativas más fuertes. Esto es debido a la disponibilidad del mismo en el mercado, bajo costo y a que es inerte químicamente.

Por lo tanto, los objetivos que se plantean en el proyecto son:

- Evaluar la aislación del espacio anular con Nitrógeno como alternativa al sistema de calefacción.
- Evaluar la reducción de costos generada en relación al sistema inicial.

En primera instancia se aplica un modelo matemático de simulación para predecir el comportamiento térmico del N₂ (nitrógeno) en el espacio anular, buscando como objetivo temperaturas en boca de pozo similares a las proporcionadas por el sistema de calefacción existente en los pozos.

Se utiliza el software Prosper, de la suit Petroleum Experts. El mismo usa un modelo fluodinámico que realiza un balance entálpico en función de la transferencia de calor desarrollada en el pozo.

En la Figura 1 podemos ver un esquema de corte transversal de un pozo, donde se observa la dirección de transferencia de calor del fluido que se desarrolla desde el fluido producido caliente en tubing hacia la formación. Esta transferencia se desarrolla a través de varios mecanismos, entre ellos: conducción en el tubing, convección en el nitrógeno (fluido aislante) y luego conducción en el casing, cemento y en la formación.

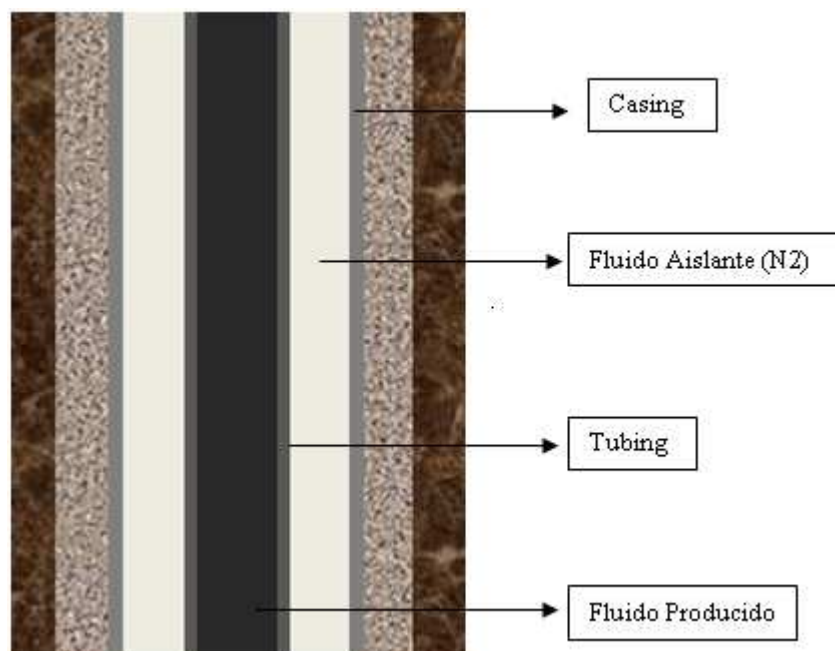


Figura 1: Corte transversal de Pozo

De todas estas etapas de transferencia de calor, la convección térmica del nitrógeno en el espacio anular es la controlante. De acuerdo a la ecuación de transferencia de calor por convección de Newton, este mecanismo depende del coeficiente convectivo " h " del fluido de entrecañón, el cual puede ser obtenido a través de los números adimensionales de Nusselt " Nu ", Prandtl " Pr " y Reynolds " Re ". Dichos números dependen de las propiedades del fluido aislante. En la Figura 2 podemos se expone lo comentado:

$$Q = h * A * \Delta T$$



$$h = fn(P, T, l)$$



$$\frac{hl}{\kappa} = \left(\frac{v\rho l}{\mu}\right)^a \times \left(\frac{cp\mu}{\kappa}\right)^{1-f}$$

$$Nussel: Nu = \frac{hl}{\kappa}$$

$$Reynolds: Re = \frac{v\rho l}{\mu}$$

$$Prandtl: Pr = \frac{cp\mu}{\kappa}$$

Figura 2: Ecuación de transferencia de calor por convección de Newton

Es el nitrógeno aquel que proporciona las características adecuadas para lograr mantener temperaturas en boca de pozo superiores a la de deposición de parafinas.

Para simular un pozo y estimar la temperatura que va a alcanzar el fluido en superficie mediante la aislación del espacio anular, se realiza la carga de datos requeridos por el modelo. A continuación se detallan los mismos:

- Geometría e instalación de fondo del pozo.
- Litología de la formación de aporte.
- Gradiente geotérmico desarrollado a lo largo del pozo.
- Propiedades del fluido utilizado como aislante, a distintas temperaturas y presiones.

El modelo es muy exigente en la cantidad y calidad de datos que requiere, haciéndolo muy específico para cada pozo en particular.

Modelado de Pozo (simulaciones y predicciones):

Una vez comprendido el modelo matemático se realizan las primeras predicciones del mismo utilizando datos de pozos del Activo. Se busca comparar los gradientes dinámicos de temperatura de pozo para tres casos:

- 1. Espacio anular con fluido de completación (gas oil).
- 2. Sistema de calefacción en funcionamiento (Tbdp cercana a 40 °C).
- 3. Espacio Anular asilado con Nitrógeno.

Para realizar el ajuste del modelo matemático se trabajó con la siguiente información relevada en campo:

- 1. Gradiente dinámico de presión y temperatura.
- 2. Gradiente estático de presión y temperatura.
- 3. Caudales de petróleo, agua y gas.

De esta forma se corre un gradiente dinámico en un pozo surgente seleccionado. Se realizan las simulaciones con las siguientes condiciones de producción:

Pboca	Tboca	Qo	Qw	GOR	Wcut
(kg/cm ²)	(°C)	(m ³ /d)	(m ³ /d)	(m ³ /m ³)	(%)
104	41	38	0	294	0

A continuación se muestra el cálculo modelado de gradiente de temperatura, indicado por la línea continua, y se lo compara con datos reales medidos en campo, indicados por las cruces.

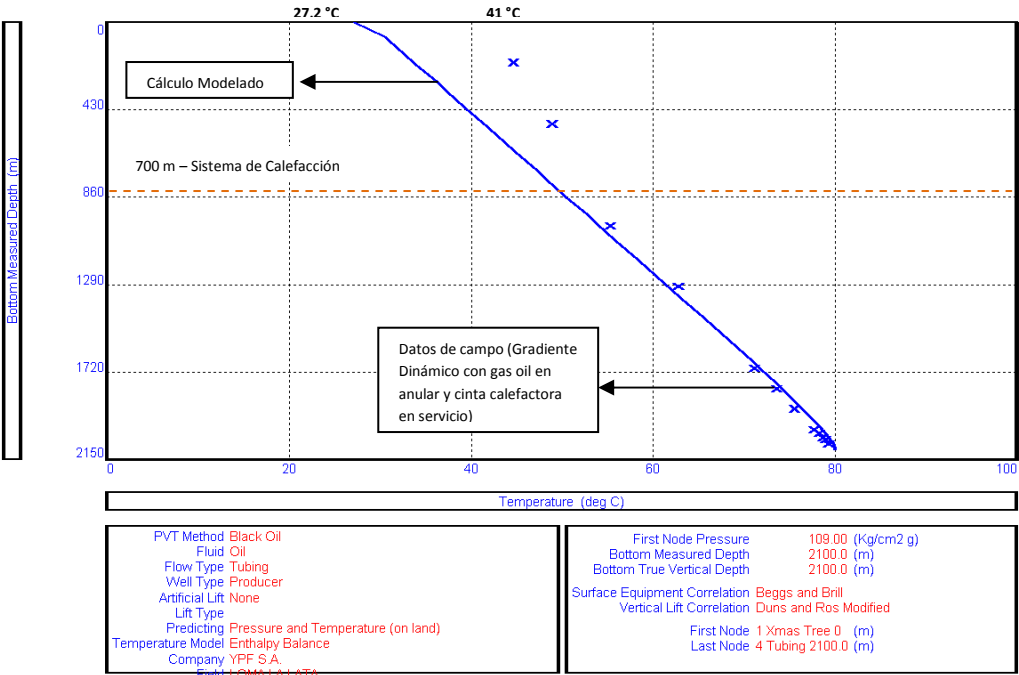


Figura 3: Ajuste Modelo datos de campo

Se destaca el muy buen ajuste del modelo en el caso de disponer el espacio anular con fluido de completación, aclarando que los puntos por encima de la profundidad del sistema de calefacción no son ajustados, ya que responden a un sistema externo de calentamiento del fluido producido.

Luego de realizar el ajuste del modelo entálpico se busca predecir cuál sería la temperatura de boca para las mismas condiciones de producción si el espacio anular se aislara con nitrógeno. En la siguiente gráfica se puede observar la predicción del modelo matemático en línea continua.

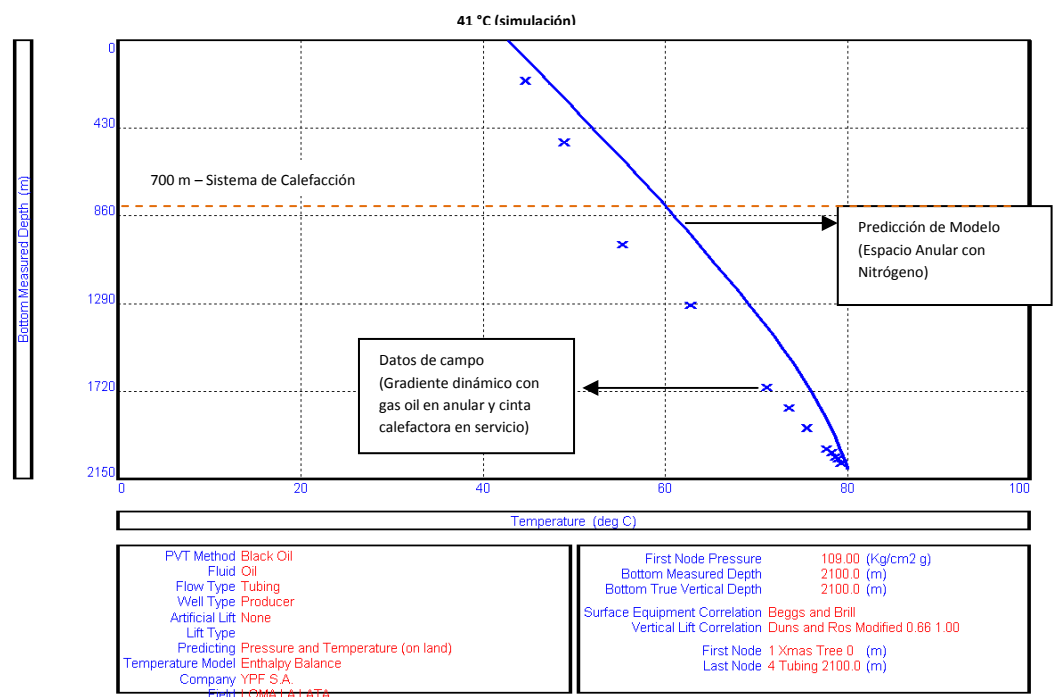


Figura 4: Simulación espacio anular nitrogenado

A continuación se muestra la comparación de las simulaciones de espacio anular con gas oil (en rojo) vs espacio anular nitrogenado (en verde), las cruces azules simbolizan los datos del gradiente dinámico para esas condiciones de producción, con gas oil en anular y sistema de calefacción en servicio:

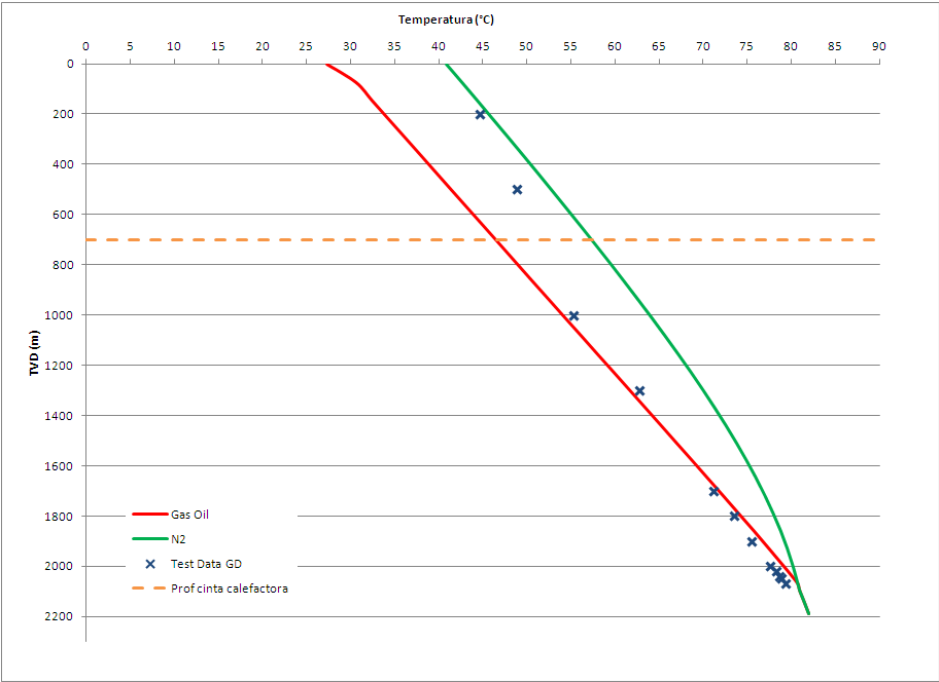


Figura 5: Comparación Ajuste de Modelo

En cuanto a la simulación y predicción realizada con espacio anular nitrogenado, podemos observar que se lograría una importante mejora del comportamiento de temperatura a lo largo de toda la cañería de

producción. Según dicha simulación se obtendría una temperatura de boca similar a la que brinda el sistema de calefacción instalado (cruces azules superiores) y mayor a la de formación de parafinas (cloud point).

Operación en campo:

Una vez desarrollado el modelo y obteniendo resultados alentadores respecto de la predicción en el comportamiento del nitrógeno como fluido aislante en nuestros pozos, se enfocó el desarrollo del proyecto en plasmar lo simulado en campo.

Para comenzar se realizaron reuniones técnicas con Compañías de Servicio para evaluar la aplicabilidad efectiva del proyecto en campo y evaluar los diferentes pasos involucrados en una operación, para realizar el cambio de fluido de completación por nitrógeno en el espacio anular. En consecuencia se desarrolló un programa operativo y su correspondiente análisis de riesgos.

Dado que nuestros pozos son surgentes, el programa operativo para intervenir el mismo comienza con el aislamiento de la formación de aporte respecto de la cañería de producción. Esto se consigue mediante la fijación de un tapón con prong ecualizador, sobre niple no-go por debajo del packer. Se procede a la despresurización de la cañería de producción, para evaluar la hermeticidad del tapón.

A continuación se realiza la apertura de la camisa de circulación por encima del packer, de forma de comunicar la cañería de producción con el anular del pozo. En este momento se comienza con el desplazamiento del fluido de completación del anular y reemplazo del mismo, con nitrógeno a presión, realizándolo desde anular a directa, y desplazando los fluidos a piletas. El reemplazo de fluido se completa una vez obtenido todo el volumen de fluido de completación y realizando un sobre desplazamiento con nitrógeno limpio, de forma de asegurar un efectivo nitrogenado del espacio anular.

Finalmente se baja y cierra la camisa de circulación, y se realiza la pesca en 2 carreras del tapón: primero se pesca el prong ecualizador, de forma de evitar una descompresión brusca de la formación, y luego el tapón.

En la siguiente figura se puede visualizar la instalación final de producción estándar de nuestros pozos y un esquema del desplazamiento de fluidos:

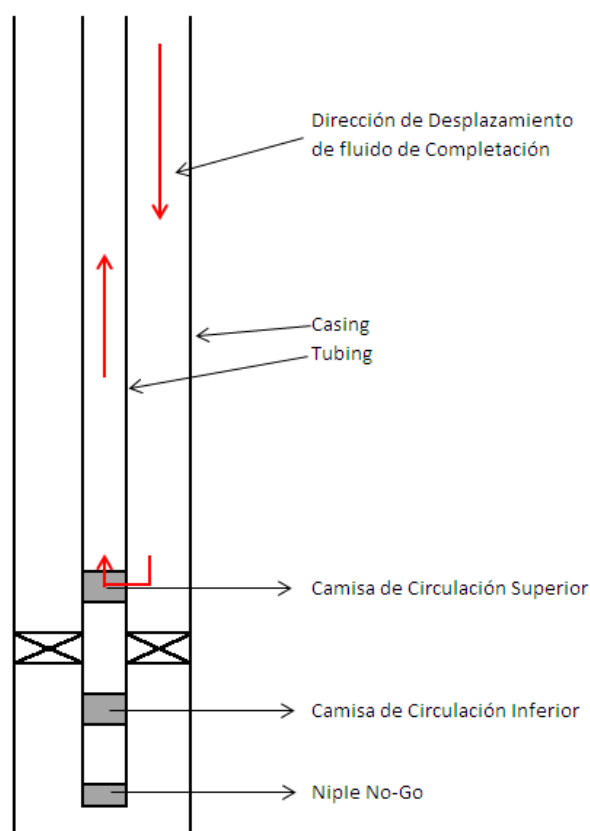


Figura 6: Esquema de Desplazamiento de Fluido de Completación

Los equipos necesarios para llevar a cabo esta operación son los siguientes:

- Pileta con golpeador.
- Líneas de alta presión.
- Camión Nitrogenado (capacidad de 10000 lts de N₂).
- Equipo de Slickline (Alambre).
- Válvula aguja (para controlar el desplazamiento y reemplazo de fluido).

A partir de esto, se coordina y realiza la primera operación en campo, con supervisión propia, en el mismo pozo seleccionado al cual se le realizaron las primeras simulaciones. La operación se completa con éxito, según el programa operativo diseñado y sin ningún tipo de incidentes.

Ajuste de Modelo:

Pasado un cierto tiempo de la primera operación realizada, buscando la estabilización en las condiciones de producción del pozo, se ejecuta un segundo gradiente dinámico para evaluar las temperaturas desarrolladas en la cañería de producción, hacer un ajuste del modelo, evaluar el desempeño del nitrógeno como fluido aislante y, de esta forma, poder replicar la operación en otros pozos.

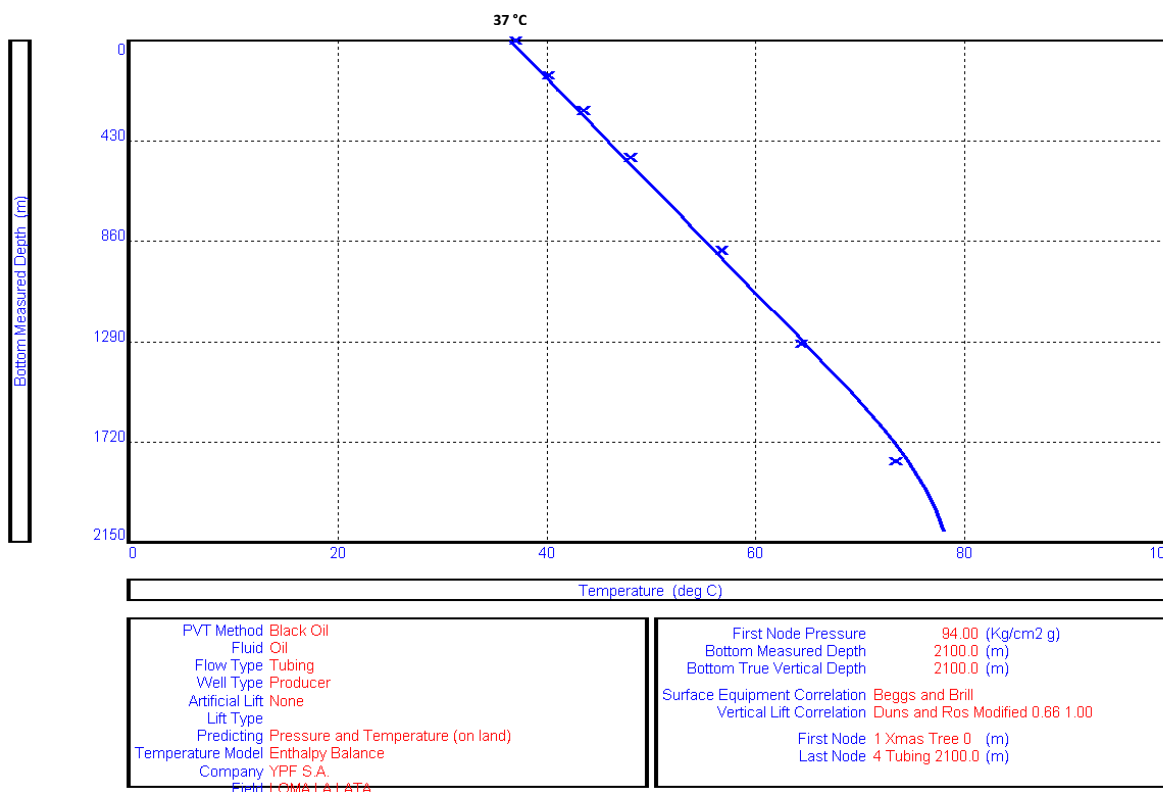
Al momento de la intervención del pozo, las condiciones de producción fueron distintas a las utilizadas para las simulaciones, debido al declino natural en la producción del mismo. Dichas condiciones fueron:

Pboca	Qo	Qw	GOR	Wcut	Días de Producción
(kg/cm ²)	(m ³ /d)	(m ³ /d)	(m ³ /m ³)	(%)	
94	24,8	0	268	0	225

Con estas nuevas condiciones se realizó una predicción a través del modelo, esperando obtener una temperatura de boca de pozo de 37 °C. Esta temperatura difiere de la simulada inicialmente (42 °C) debido a la declinación de producción del pozo (el caudal de petróleo disminuyó de 38 m³/d a 24,8 m³/d entre la primera simulación y la aplicación en campo).

Al finalizar la operación de nitrogenado se dejó fuera de servicio el sistema de calefacción y una semana después se realizó el gradiente dinámico.

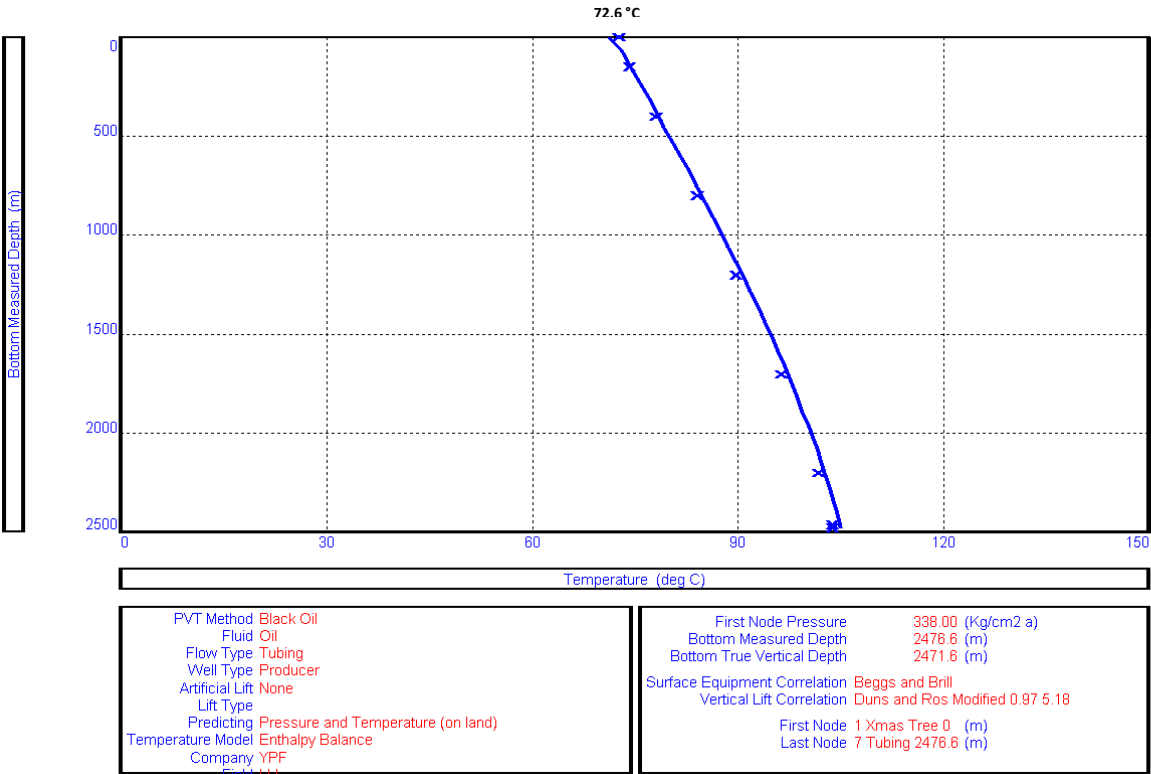
A continuación se presenta la simulación del modelo en línea continua y su comparación con los datos reales del segundo gradiente representados por cruces. Nuevamente se resalta un ajuste muy satisfactorio.



Se destaca de la operación realizada y del posterior ajuste de los datos de campo con el modelo matemático, que la aislación con nitrógeno del espacio anular funcionó satisfactoriamente en el pozo intervenido, ya que mantuvo la TBDP por encima del pour point de parafinas.

Adicionalmente al primer pozo intervenido, se realizaron varios más en forma de piloto para evaluar la efectividad de la aislación con nitrógeno. Entre los pozos seleccionados, se muestra a continuación la aplicación en un pozo fracturado de Vaca Muerta. Se puede observar el ajuste del modelo a 10 días del inicio de producción del pozo, cuando el mismo se encontraba en periodo de flowback, produciendo únicamente agua, sin presencia de petróleo ni de gas:

Pboca (kg/cm ²)	Tboca (°C)	Qo (m ³ /d)	Qw (m ³ /d)	GOR (m ³ /m ³)	Wcut (%)	Días de Producción	Fluido en espacio anular
338,2	72,6	0	190,6	0	0	10	Nitrógeno a Patm



Podemos ver que el modelo también genera muy buen ajuste en condiciones de flujo monofásico, con un corte de agua de 100%.

Conclusiones y Resultados Obtenidos

A través de las operaciones realizadas se logra demostrar la aplicabilidad del sistema de aislación térmica con nitrógeno a presión atmosférica en el espacio anular y la confiabilidad del modelo matemático utilizado para ajustar los datos reales.

Se realizó un piloto exitoso de 6 pozos, el cual permitió tomar la decisión de realizar el reemplazo de fluido de completación (gas oil) por nitrógeno en todos los pozos del proyecto como alternativa al sistema de calefacción utilizado. De esta forma se realizó la implementación estándar de la operación descrita en este trabajo, en programas de intervención con Work Over, con la aplicación a la fecha de 15 pozos.

Además de ser un proyecto novedoso en si mismo permitirá conseguir significativos ahorros en gastos e inversión que impactan positivamente en la rentabilidad del proyecto de desarrollo de petróleo no convencional.

Adicionalmente, habiendo una correlación tan exacta entre los datos de campo y el modelo matemático, se pudo implementar una metodología de control indirecto de la producción mediante el gradiente dinámico de presión y temperatura en los pozos nitrogenados.

Recomendaciones

Como pudo ser observado en el desarrollo del trabajo, una de las desventajas de esta alternativa es la dependencia con el caudal de producción y corte de agua, que posee la aislación con nitrógeno para mantener la temperatura de boca de pozo. Existe un caudal de corte en el cual la aislación ya no es efectiva, por eso se recomienda complementar la aislación térmica con inyección de químicos en fondo.

Debido a la característica de nuestros pozos no convencionales, de poseer elevadas presiones originales de reservorio, se recomienda dejar el anular con nitrógeno presurizado, de forma de controlar el diferencial de presión que soporta el packer, en la vida temprana del pozo.

Teniendo en cuenta, que a menor presión de entrecaño, mayor es el efecto aislante, por lo que se recomienda llevar a cabo un control de las presiones de entrecaño, para mantenerlas a presión atmosférica y así obtener una mejor performance del aislante. Se debe considerar también que por la temperatura del fluido producido y de la formación, hay fenómenos convectivos que calientan el fluido aislante y lo presurizan, de forma que también debemos hacer un seguimiento de dichas presiones por esta razón.