

## Evaluación de un nuevo inhibidor de calcita en el pozo LV-4A del campo geotérmico de Las Tres Vírgenes, BCS, México

**Ruth Tapia Salazar, Noé Arvizu Meza, Pedro Hernández Lagunas y Gerardo Ramírez Ramírez**

Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Residencia de Las Tres Vírgenes, Santa Rosalía, BCS. E-mail: [ruth.tapia@fce.gob.mx](mailto:ruth.tapia@fce.gob.mx), [pedro.hernandez@fce.gob.mx](mailto:pedro.hernandez@fce.gob.mx)

### Resumen

La inhibición del depósito de calcita ha sido fundamental para mantener la producción de los pozos en el campo geotérmico de Las Tres Vírgenes, B.C.S. Desde 2003 se han probado al menos cuatro tipos de inhibidores diferentes, como Betzdearborn, OP-2506, Nalco 1340 HP y más recientemente el Nalco 9354, basados casi todos en polyacrilatos. Cada uno ha demostrado cierta eficiencia en el control del depósito de calcita, pero debido al incremento considerable en sus costos, ha sido necesario buscar alternativas con productos más económicos e igualmente eficientes. Entre enero y marzo de 2012, se evaluó un nuevo inhibidor de calcita, conocido como PowerChem GS428, con el fin de determinar su eficiencia, efectividad y dosis óptima para tratar los fluidos producidos por el pozo LV-4A. Este trabajo presenta los resultados de esas pruebas, con lo que actualmente se tiene una opción más para la elección definitiva de un inhibidor con mejor eficiencia y menores costos de operación.

*Palabras clave:* Incrustación, calcita, inhibidores químicos, producción de pozos, costos, características químicas de fluidos.

### Evaluation of a new calcite inhibitor in the well LV-4A at Las Tres Vírgenes geothermal field, BCS, México

#### Abstract

The inhibition of calcite scaling has been fundamental to maintain production of the wells in Las Tres Vírgenes geothermal field, B.C.S. Since 2003, at least four types of different inhibitors have been tested, such as Betzdearborn, OP-2506, Nalco 1340 HP and more recently Nalco 9354, almost all based on polyacrylates. Each one has demonstrated certain efficiency in the control of calcite deposit, but due to the considerable increment in their costs, it has been necessary to look for more economic alternatives and equally more efficient products. Between January and March 2012, a new calcite inhibitor was evaluated, known as PowerChem GS428, with the purpose of determining its efficiency, effectiveness and recommended dose to treat the fluids produced by the LV-4A well. This work presents the results of those tests, which at the moment represent one additional option for the definitive choice of an inhibitor with better efficiency and lower operation costs.

*Keywords:* Scaling, calcite, chemical inhibitors, well productions, costs, chemical characteristic of fluids.

#### 1. INTRODUCCIÓN

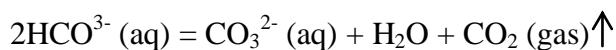
El campo geotérmico Las Tres Vírgenes se localiza en la Península de Baja California Sur, a 32 km al NW de la ciudad de Santa Rosalía. El campo está relacionado con un complejo volcánico cuaternario, compuesto de tres volcanes alineados de norte a sur (Gutiérrez Negrín et al., 1990), con un yacimiento dominado por líquido.

A la fecha se cuenta con 4 pozos productores integrados al sistema, en los cuales se determinó que existe sobresaturación de calcita a las temperaturas de flasheo. Debido a esto es necesario el uso de métodos para prevenir la incrustación. El método usado a la fecha es uno de los más populares y consiste en la inyección de reactivos químicos como los polyacrilatos, los cuales cumplen su función al ser dosificados por debajo del punto de flasheo para disminuir la velocidad de formación y prevenir el depósito de calcita, prolongando la vida útil del pozo.

La calcita es uno de los pocos minerales cuya solubilidad decrece con el incremento en la temperatura de la solución (solubilidad inversa). El mecanismo usual de precipitación de calcita se realiza a través de la pérdida de CO<sub>2</sub> de la solución en el momento en que el agua alcanza el nivel donde la presión permite la ebullición del fluido.

La mayoría de las aguas geotérmicas de alta temperatura están cerca del punto de saturación con calcita. Al presentarse la ebullición, se pierde dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y otros gases, y por lo tanto el pH del agua cambia por la pérdida de estos gases ácidos. De esta forma, un agua que originalmente estaba cerca de la saturación con calcita se convierte rápidamente en sobresaturada.

Durante la ebullición, el CO<sub>2</sub> (gas) se pierde de la solución y los iones carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) quedan libres:



La calcita entonces precipita por la pérdida del CO<sub>2</sub> (gas):



La ebullición es entonces una causa común de incrustación de calcita en pozos geotérmicos.

## 2. OBJETIVOS

- Utilizar el inhibidor GS428 en el pozo productor LV-4A para inhibir la incrustación por calcita, a una dosis tal que minimice los depósitos en la tubería de revestimiento del pozo, reduciendo la necesidad de llevar a cabo limpiezas mecánicas y/o químicas para recuperar la producción abatida por efectos de la incrustación.
- Implantar un programa de monitoreo y pruebas para asegurar que la dosis del inhibidor GS428 se mantiene en un nivel tal que minimice la formación de calcita.

Los costos asociados al uso de inhibidores deberán cumplir con las expectativas de CFE en términos de gastos de operación.

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Selección y características del pozo LV-4A

Para la selección del pozo en el que se realizaría la prueba del nuevo inhibidor se tomaron en cuenta los siguientes datos y criterios:

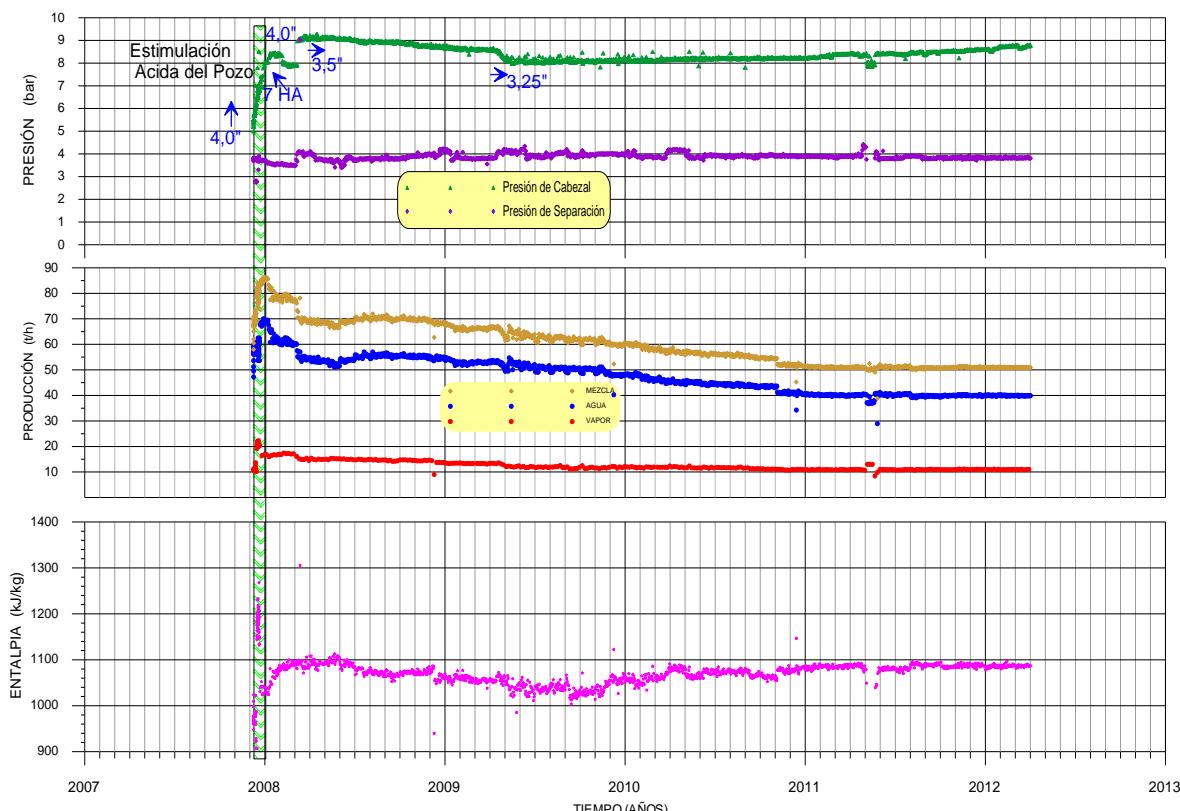
- a) Pozo con mayor índice de declinación en los últimos dos años.
- b) Punto de flasheo calculado a una profundidad por arriba de la cámara de inhibición.
- c) Datos históricos sobre su comportamiento geoquímico.

El pozo LV-4A fue construido en la zona sur del campo entre noviembre de 2006 y marzo de 2007 en la misma plataforma del pozo LV-4. Es un pozo direccional con un rumbo S62°W con un desarrollo total 2102 m, un desplazamiento horizontal de 415 m y una profundidad vertical total de 2040 m.

El pozo se integró al vaporducto principal de las unidades generación en diciembre de 2007 con una presión de cabezal de 5.4 bar, gasto de vapor de 17 t/h y gasto de agua de 69 t/h, con placa de orificio de 101.6 mm (4"). La entalpía de los fluidos indica que el flasheo ocurre dentro de las tuberías del pozo. El 23 de diciembre del mismo año se le instaló una cámara para la inyección de un inhibidor de incrustación de calcita a base de polímeros sintéticos. El inhibidor se inyecta las 24 horas del día de manera ininterrumpida, mientras el pozo está abierto a producción.

La Gráfica 1 representa la evolución de las características de producción del pozo LV-4A, apreciándose su tendencia a disminuir su producción. Con la finalidad de preservar el recurso, en marzo de 2008 se redujo el orificio de producción de 101.6 mm (4") a 88.9 mm (3.5"). La declinación de la producción del pozo se calculó en 8.76%. En mayo de 2009 se modificó la restricción del pozo, sustituyendo la placa de orificio de 88.9 mm (3.5"), por una de 82.55 mm (3.25") de diámetro. La declinación de la producción del pozo en este periodo fue de 8.72 %.

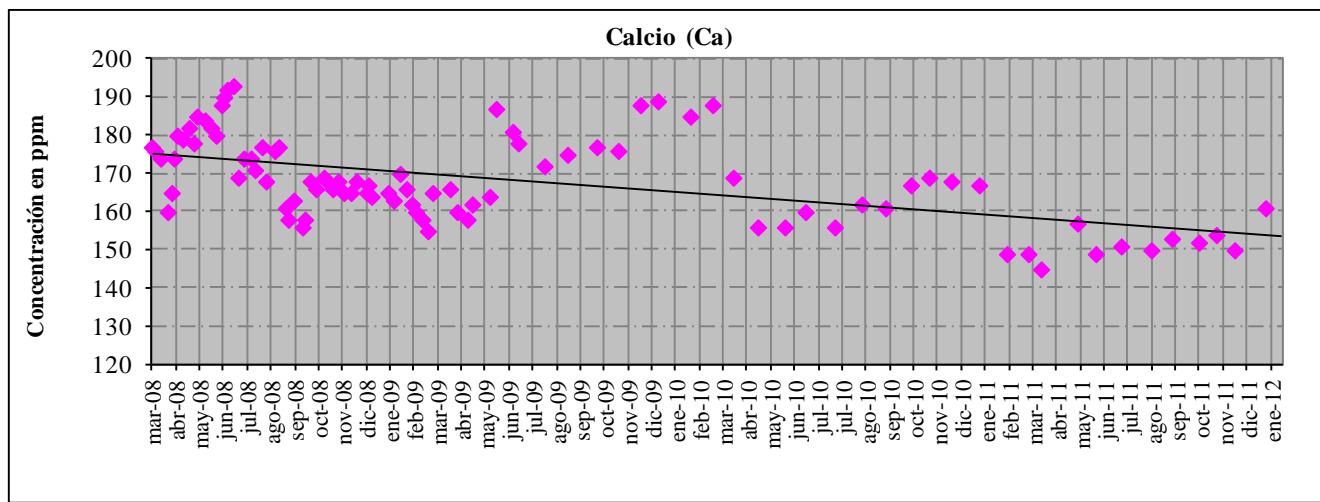
En 2010 la declinación en la producción del pozo fue aproximadamente del 11.9% y para 2011 disminuyó a 5.7%, debido que se encontró reducción del diámetro de producción por incrustación de sílice.



Gráfica 1. Evolución de las características de producción del pozo LV-4A

Según el estado de saturación de minerales de alteración, durante el año 2008 y hasta noviembre de 2009 el pozo LV-4A presentó índices de saturación menores a 0.5 a temperaturas por arriba de los 180°C. Desde noviembre de 2009 a la fecha el índice de saturación es mayor de 0.5 a temperaturas por encima de los 140°C.

Después de una limpieza química llevada a cabo en noviembre de 2007, a partir de marzo 2008 el pozo fluyó por placa de orificio de 88.9 mm (3.5") teniendo concentraciones de calcio en superficie de alrededor de 180 ppm. En el lapso de un año esas concentraciones disminuyeron hasta 165 ppm. En mayo de 2009, al cambiar la placa de orificio por la de 82.55 mm (3.25"), se recuperó la concentración de calcio hasta alrededor de 180 ppm, la cual disminuyó hasta alrededor de 152 ppm en diciembre de 2011 (Gráfica 2).



Gráfica 2. Evolución de la concentración de calcio del pozo LV-4A.

### 3.2. Inhibidor PowerChem GS428

PowerChem GS428 es una mezcla de dispersantes poliméricos e inhibidores multifuncionales desarrollado con el objetivo de mejorar el rendimiento de los pozos. Se usa principalmente como inhibidor de calcita en pozos productores, dosificándolo por medio de un tubo capilar debajo de la zona de flasheo dentro del pozo. PowerChem GS428 normalmente no requiere dilución en sitio y puede aplicarse directamente del contenedor. Esto es particularmente importante ya que el agua de dilución es una fuente potencial de contaminación del inhibidor. En el campo de Las Tres Vírgenes la escasez de agua es un asunto crítico y requiere de mano de obra adicional.

### 3.3. Sistema de dosificación

El sistema de dosificación está compuesto de una bomba de desplazamiento positivo con capacidad de bombeo de 250 ml/min (3.9 galones por hora) a una presión máxima de 82 bar con válvula de alivio calibrada a 60 bar. El material en contacto con el fluido es de acero inoxidable 316, e incluye válvulas check tipo bola en acero inoxidable 316, asiento de teflón, diafragma de bomba en material viton, y un carrete con tubo capilar de acero aleación incoloy sin costura, con una longitud de 2500 m. Está fabricado bajo norma UNS N8028, acorde con ASTM B688, es marca SANDVIK tipo SANICRO 29 de 6.35 mm (1/4") de diámetro exterior y 0.89 mm (0.035") de espesor de pared. El sistema cuenta con

una cámara de dispersión colocada a 1600 m de profundidad, esto es, por debajo del nivel dinámico del pozo (ver Figura 1).

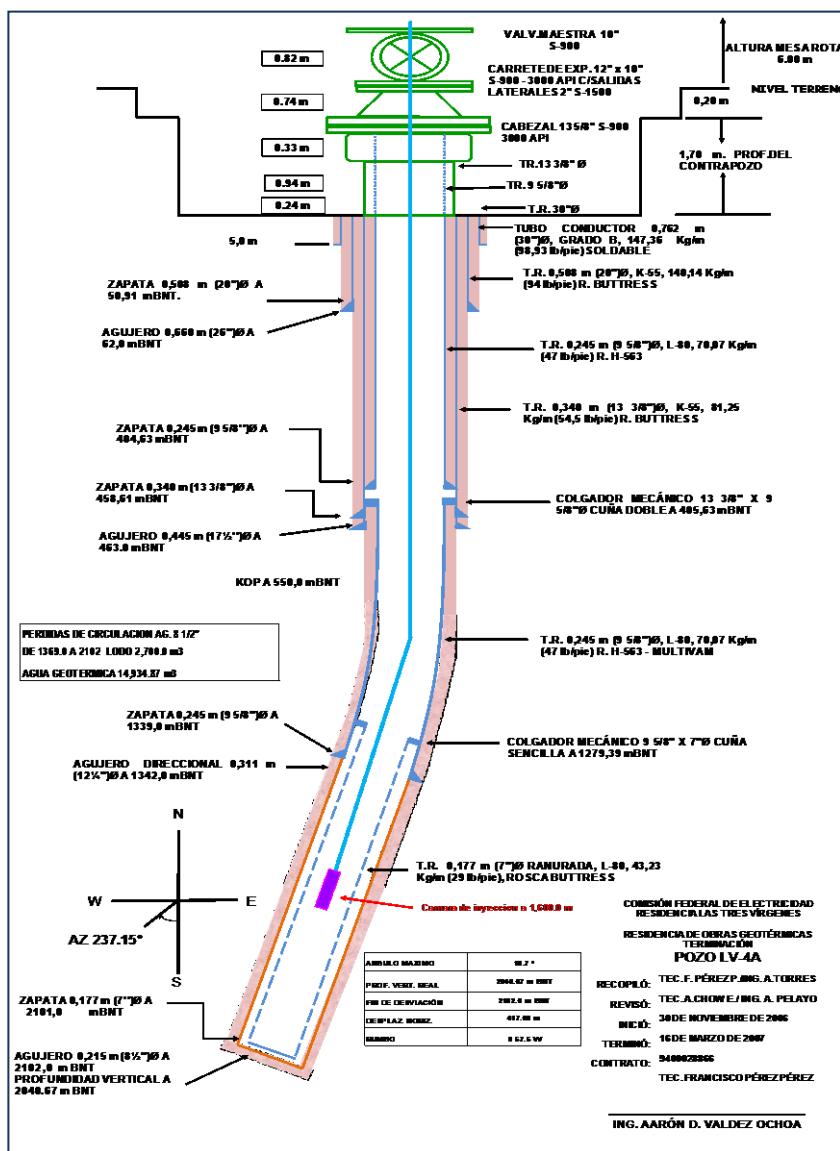


Fig. 1. Esquema del pozo LV4A y ubicación de la cámara de inhibición.

### 3.4. Plan de la prueba

La Compañía ChemTreat México, S.R.L. de C.V, proporcionó a la Residencia Las Tres Vírgenes 5 contenedores (de unos mil litros cada uno) de su inhibidor GS428 lo cual debía ser suficiente para llevar a cabo una prueba de un mes sin necesidad de realizar diluciones.

Previamente al inicio de la prueba el tubo capilar fue lavado con agua purificada antes de comenzar la aplicación de GS428, con el fin de eliminar cualquier residuo del inhibidor anterior.

La bomba dosificadora tiene una capacidad máxima de 250 ml/min a una presión de 60 bar, y considerando que el 20% de esa capacidad es el límite inferior de operación, no se deberán aplicar dosis menores a 50 ml/min.

Se conectó uno de los contenedores de GS428 a la bomba dosificadora y se fijó la alimentación al flujo máximo, 250 ml/min, para llenar el tubo capilar y poder comenzar a inyectar el producto al pozo. La cámara se colocó, como se dijo, a una profundidad de 1,600 m.

**Primera etapa.** Esta consistió en pruebas dosificando el inhibidor a diferentes gastos por períodos cortos para tratar de encontrar el punto de quiebre, el cual representa el momento en el que la concentración de calcio no se mantiene y comienza a disminuir en superficie.

Se empezó con dosificación de 250 ml/min y posteriormente se redujo a 175, 100 y finalmente 50 ml/min, por períodos de entre 3 y 18 horas. En cada uno de los gastos se tomaron las respectivas muestras para la determinación de calcio y bicarbonatos.

**Segunda etapa.** En esta etapa continuaron las pruebas dosificando el inhibidor a diferentes gastos, pero por períodos más largos. El objetivo fue ajustar la dosis y buscar un cambio paulatino y estable en los niveles de calcio tal que ayude a establecer eficazmente la dosis óptima.

La recomendación del fabricante del inhibidor había sido utilizar una dosis de 120 ml/min, pero se tomó la decisión de iniciar con un gasto ligeramente mayor por seguridad, y posteriormente comenzar a disminuir la dosificación por períodos de 3 a 5 días dependiendo de la estabilización de la concentración del calcio. Las dosificaciones escogidas fueron de 150, 125, 100, 80 y 60 ml/min.

### 3.5. Muestreo y análisis químicos

Para la primera etapa se tomaron por lo menos dos muestras con cada gasto y para la segunda se realizaron muestreos dos veces al día. Cada muestreo consistió en tomar por separado una muestra de 125 ml sin tratar para análisis exclusivo de bicarbonatos y otra con una dilución 1:10 enfriada y acidulada con  $\text{HNO}_3$  con el fin de mantener el calcio en solución mientras se enviaban al laboratorio para su análisis.

Se realizaron análisis químicos de todas las muestras a lo largo de la prueba, determinando la alcalinidad total y bicarbonatos por el método titrimétrico y el calcio por espectrometría de absorción atómica utilizando una lámpara de cátodo hueco a una longitud de onda de 422.7 nm.

### 3.6. Monitoreo del pozo

A lo largo del periodo de prueba se monitoreó la presión de cabezal, presión de separación y presión de entrega de vapor a las unidades de generación con el fin de determinar cualquier cambio que pudiera afectar la intención de la prueba.

## 4. RESULTADOS

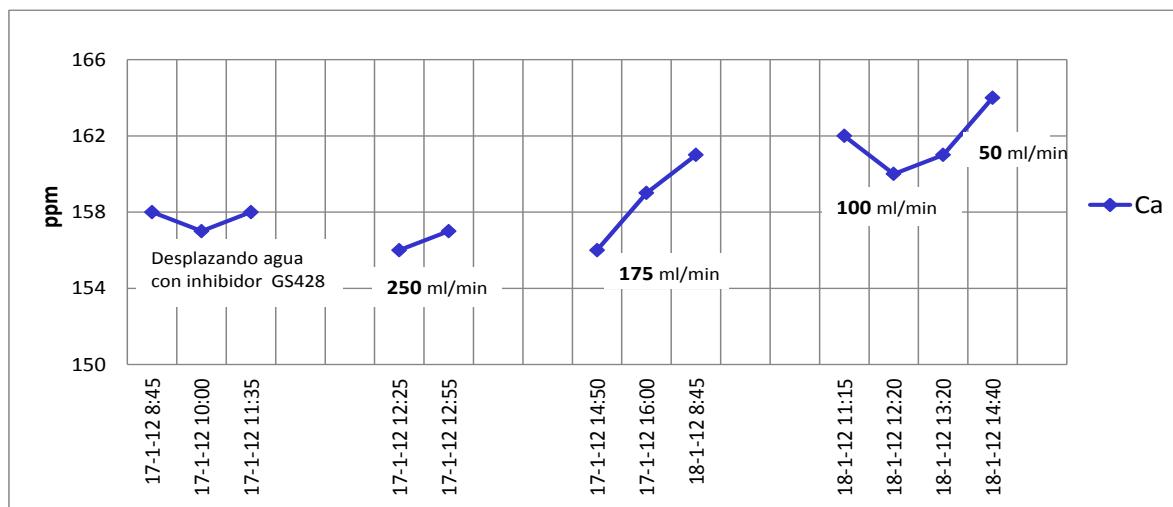
**Primera etapa.** El día previo a la prueba se mantuvo el sistema bombeando agua con el fin de limpiar cualquier residuo del inhibidor anterior y en las primeras horas del 17 de enero de 2012 se comenzó a desplazar el agua con una dosificación de 250 ml/min de inhibidor por un periodo de 3 horas. Ese mismo día se realizó el cambio a 175 ml/min dejando esa dosis hasta el día siguiente en el que se redujo la dosificación a 100 ml/min, manteniéndola por 3 horas más. Finalmente se decidió bajar la concentración a la dosis mínima 50 ml/min. En cada uno de los diferentes gastos se tomaron las respectivas muestras para análisis químico.

En la Gráfica 3 se muestran los resultados de esa prueba. Se puede apreciar que, a medida que los gastos del inhibidor se fueron reduciendo la concentración de calcio parecía subir. Esto fue debido a que la respuesta del pozo ante los diferentes gastos dosificados no fue rápida y lo que en realidad se aprecia es que el pozo requería más de un día para comenzar a estabilizarse.

Estos resultados reforzaron la idea propuesta para la segunda etapa de mantener las dosificaciones por períodos mínimos de 3 a 5 días, ya que en períodos muy cortos de dosificación no sería posible determinar con exactitud el punto de quiebre.

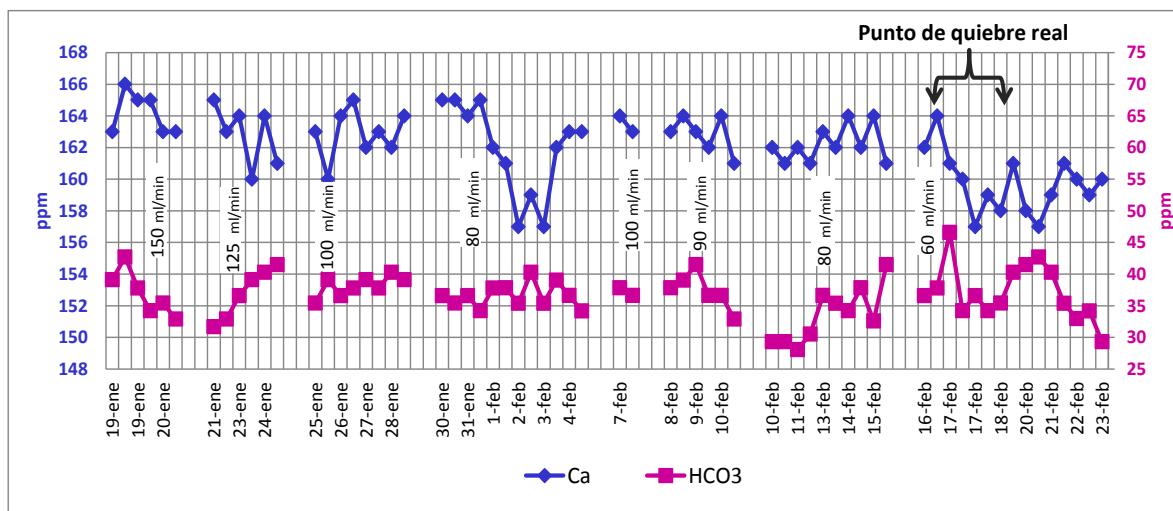
**Segunda etapa.** En la segunda etapa continuaron las pruebas planeadas, dosificando los gastos del inhibidor en períodos más largos, empezando con una dosis ligeramente mayor a la de seguridad

sugerida por el fabricante, que fue de 120ml/min. Así, el 19 de enero de 2012 se empezó con un gasto de 150 ml/min y posteriormente se comenzó a disminuir la dosificación de acuerdo al plan de prueba por periodos de 3 a 5 días dependiendo de la estabilización de la concentración del calcio.



Gráfica 3. Concentración de calcio durante la primera etapa de la prueba.

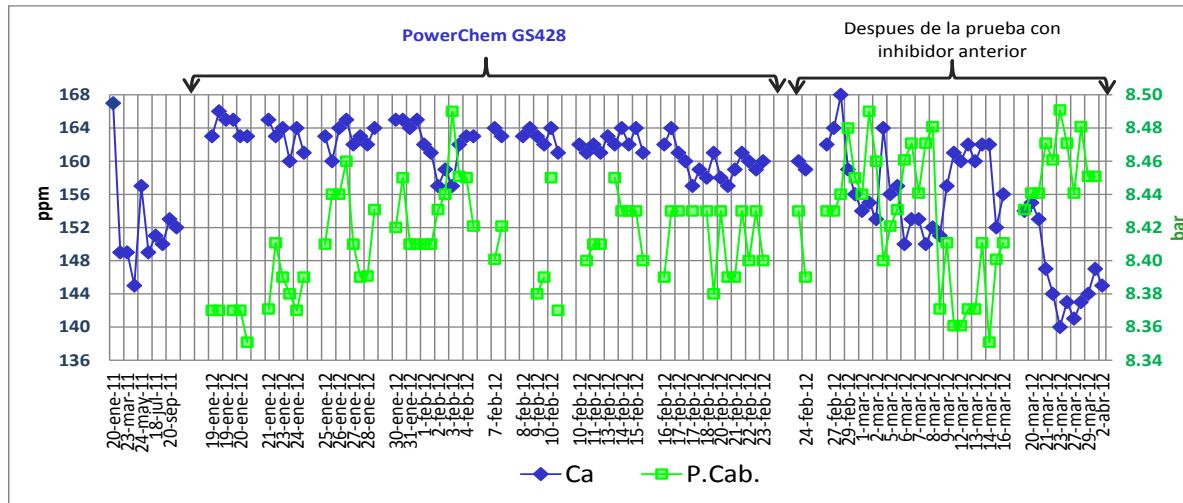
En la Gráfica 4 se aprecia que la concentración de calcio se mantiene estable en alrededor de 165 ppm, mientras se manejaron las dosificaciones de 150, 125 y 100 ml, pero al bajar la dosificación a 80 ml/min la caída en la concentración de calcio parecía haber definido el punto de quiebre. Sin embargo, después de dos días la concentración de calcio volvió a subir, al parecer sin haberse modificado la dosis. Con el fin de no arriesgar la producción del pozo, en su momento la acción inmediata fue regresar a la dosificación de 100 ml/min.



Gráfica 4. Concentración de calcio durante la segunda etapa de la prueba.

Después de analizar y correlacionar la información obtenida hasta ese momento, se llegó a la conclusión de que el pozo presentaba variaciones normales de presión cabezal en un rango de 0.2 bar, y cuando el pozo alcanzaba el pico de máxima presión el calcio tendía a bajar y viceversa (Gráfica 5). Una vez definida esta situación se acordó por seguridad modificar la dosis a 90 ml/min y posteriormente bajarla a 80 ml/min. En este tiempo la concentración de calcio permaneció constante, de

manera que se continuó reduciendo la dosis hasta 60 ml/min. Fue con esta última dosificación en la que después de aproximadamente 24 horas la concentración de calcio se redujo a unas 6 ppm, encontrando finalmente el punto de quiebre. Aun así, se decidió continuar con esa dosis unas días más para asegurarse de que dicha variación no se debiera a factores externos, como había ocurrido anteriormente.



Gráfica 5. Concentración de calcio Vs Presión de cabezal.

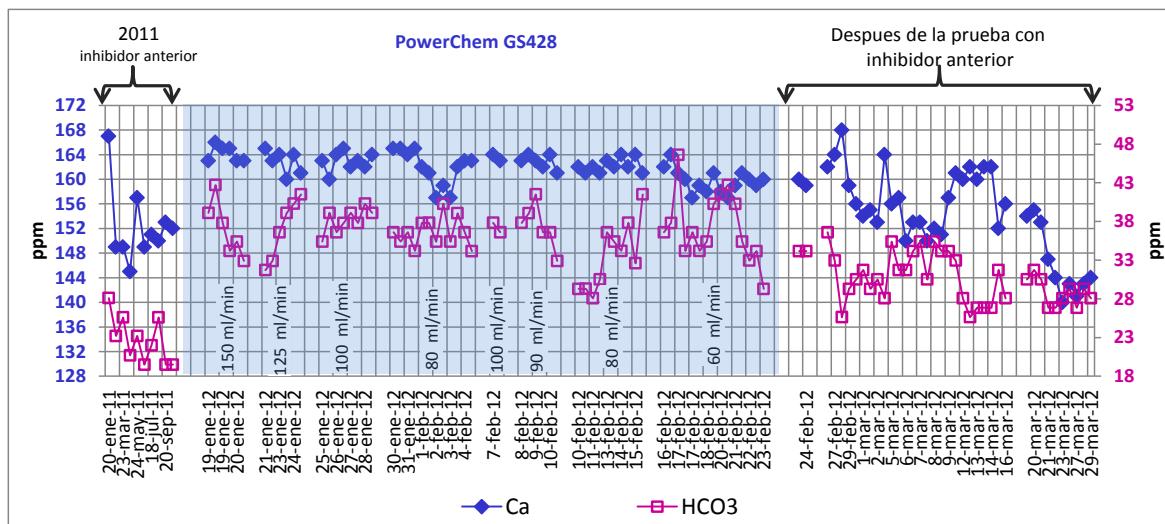
En la Gráfica 5 se puede observar cómo la concentración de calcio se ve afectada por las variaciones de presión de cabezal. Aunque estas variaciones, dentro de cierto rango, son consideradas normales, algunas otras veces la presión de cabezal ha sido afectada más severamente por las variaciones en la presión de entrega de vapor a las unidades de generación.

Finalmente para calcular la eficiencia del inhibidor PowerChem GS428 se comparó con otro inhibidor usado en fechas anteriores y posteriores a la prueba en el pozo LV-4A (Gráfica 6). Las concentraciones de calcio del pozo durante 2011 y en fechas posteriores a la prueba fueron en promedio de 152 ppm, mientras que en promedio las concentraciones de calcio obtenidas al estar probando el inhibidor GS428 fueron de 162 ppm, en dosis desde 125 hasta 80 ml/min. Adicionalmente, se observa menos variación en esas concentraciones. Por lo tanto, puede concluirse que el inhibidor PowerChem GS428 es un 6.6% más eficiente y que es viable su uso en el pozo LV-4A utilizando una dosis mínima 80 ml/min.

## 5. CONCLUSIONES

- En la evaluación de futuras marcas de inhibidores en los pozos del campo geotérmico de Las Tres Vírgenes se recomienda elaborar planes de prueba que permitan evaluar las dosis durante períodos mínimos de 5 días ya que en períodos menores no es posible determinar con exactitud el punto de quiebre.
- El punto de quiebre del inhibidor PowerChem GS428 en el pozo LV-4A se presentó durante la dosificación de 60 ml/min, por lo que no se recomienda utilizarla. En este pozo, la dosis mínima a utilizar deberá de ser de 80 ml/min.
- El porcentaje de eficiencia del inhibidor PowerChem GS428 es un 6.6% mayor con respecto al inhibidor usado antes y después de la prueba.

- Durante futuras pruebas con inhibidores deberá monitorearse puntualmente la presión de cabezal de los pozos durante la toma de las muestras, ya que cualquier variación anómala en ella podría enmascarar la concentración de calcio en superficie.



Gráfica 6. Concentración de calcio y bicarbonatos antes y después de la prueba con GS428.

## RECONOCIMIENTOS

- A la Subgerencia de Estudios por su liderazgo en promover mejoras en los procesos sustantivos de la residencia de Las Tres Vírgenes.
- Al personal técnico de campo de la Residencia de Estudios por el apoyo en el muestreo del pozo durante toda la prueba.
- A la compañía ChemTreat Inc. por su aportación de recursos tanto humanos como materiales para la realización de la prueba.