



*Comisión Federal de Electricidad*

---

# **APROVECHAMIENTO DE POZOS GEOTÉRMICOS CON PRESENCIA DE HCl (ACIDEZ), EN SU FLUIDO DE PRODUCCIÓN**

**Heber D. Diez L.<sup>1</sup>, Magaly Flores A.<sup>1</sup>, Miguel Ramírez M.<sup>1</sup>, Rigoberto Tovar A.<sup>2</sup>, Fernando Sandoval M.<sup>1</sup>, César Rosales L.<sup>3</sup> y Felipe Solano T.<sup>3</sup>**

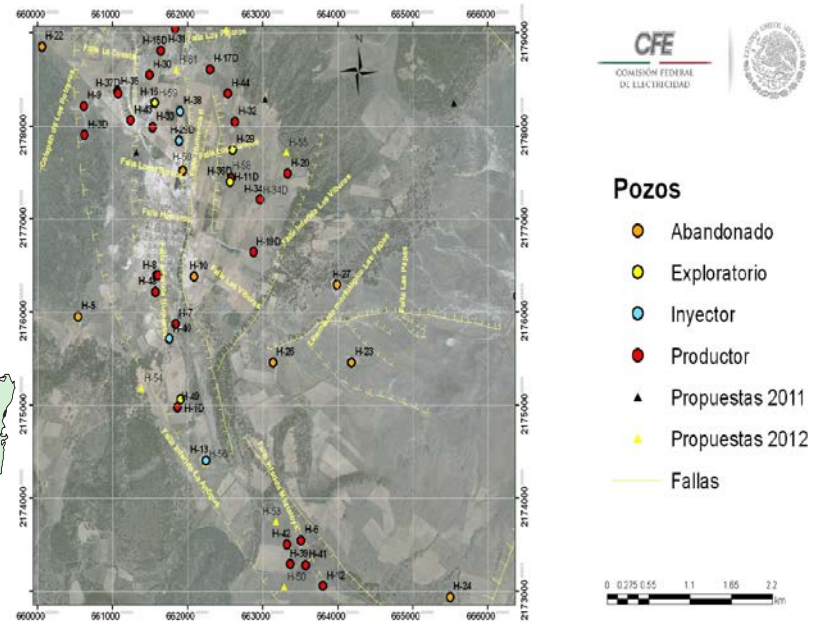
Comisión Federal de Electricidad (CFE), Gerencia de Proyectos  
Geotermoeléctricos, <sup>1</sup>Sede, Morelia, Mich., <sup>2</sup>Residencia Los Azufres,  
<sup>3</sup>Residencia Los Humeros.

Correo: [heber.diez@cfe.gob.mx](mailto:heber.diez@cfe.gob.mx)

Abril 2016

# LOS HUMEROS Y EL SOBRECALENTAMIENTO

El pozo con sobrecalentamiento fue perforado de octubre de 2007 a enero de 2008, al noroeste del campo geotérmico de Los Humeros, ubicado en el estado de Puebla.



## NATURALEZA DE LOS FLUIDOS DEL POZO SOBRECALENTADO

Durante las primeras evaluaciones del pozo se detectaron valores de pH cercanos a 3 en el fluido de producción.



Fluido Corrosivo



Diseño de un sistema de neutralización de ácidos.

## CLOURURO DE HIDRÓGENO (HCl GASEOSO)

El análisis del fluido en laboratorio confirmó que presentaba un exceso en el ión cloruro (Cl<sup>-</sup>), atribuido a la presencia de **cloruro de hidrógeno (HCl gaseoso)**.

Química de producción a orificio de 50.8 mm (2") de diámetro.

Composición química del condensado.

pH	Conduc. Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Alcalinidad Total (meq/L)	CL	B	HCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	As	Fe
			mg/l (ppm)										
4.47	145	0.4266	31	958	1.67	21.95	45	0.58	0.36	0.55	0.04	9.11	8.21

Porcentaje en peso de gases.

GAS TOTAL (%W <sub>T</sub> )	Ar	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	He	N <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>
	%Wi							
3.86	0.7645	0.0134	84.31	0.3995	9.62	0.00	4.8908	0.0041

## NEUTRALIZACIÓN DE FONDO

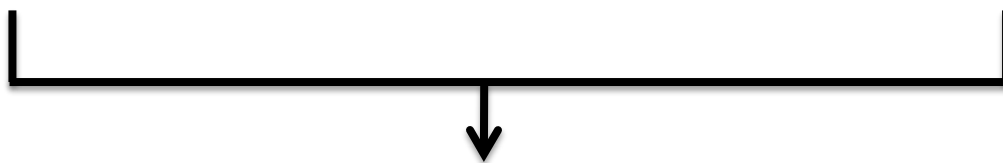
Para aprovechar el fluido del pozo en estudio se diseñó un primer sistema de neutralización de HCl.

**Objetivo.-** Proteger el revestimiento y cabezal del pozo de la corrosión por HCl.

### Variables

### Condición

Termodinámica de producción	➔	Saturación
Mecánica de corrosión por HCl	➔	Ácido Clorhídrico



**Técnica de solución.-** Inyección de NaOH mediante un tubing de acero inoxidable con una cámara a 1350 m.



Comisión Federal de Electricidad

## RESULTADOS DE LA INHIBICIÓN

Las pruebas de neutralización se llevaron a cabo en 2009, 2011 y 2012; **mostrando que era factible y exitosa la inhibición del ácido.**

Problemas en el sistema de suministro del inhibidor.

2011 Pérdida de la tubería incoloy.

2012 Incrustación de carbonato de sodio cristalizado en el cabezal del pozo.

## RESULTADOS DE LA INHIBICIÓN

### Sobrecalentamiento

Confirmado más tarde con datos de presión y de temperatura medidos en cabezal.



- **Natrita** (carbonato de sodio,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).
- **Termonatrita** (carbonato de sodio hidratado,  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ).
- **Posibles trazas de NaCl.**

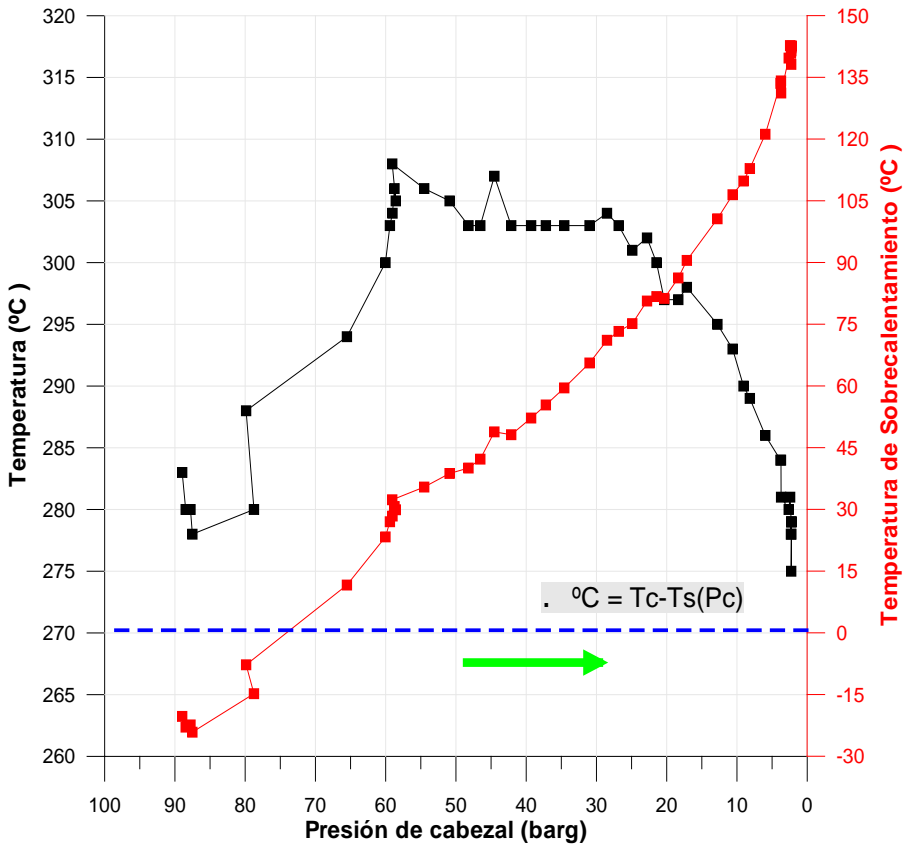
### Alternativa:

Utilización de un inhibidor compuesto de carbonato de potasio ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) + AMINA, lo cual tiene algunas ventajas sobre la solución de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) y mayor tolerancia al nivel de sobrecalentamiento del fluido, (Weres and Kendrick 2010).

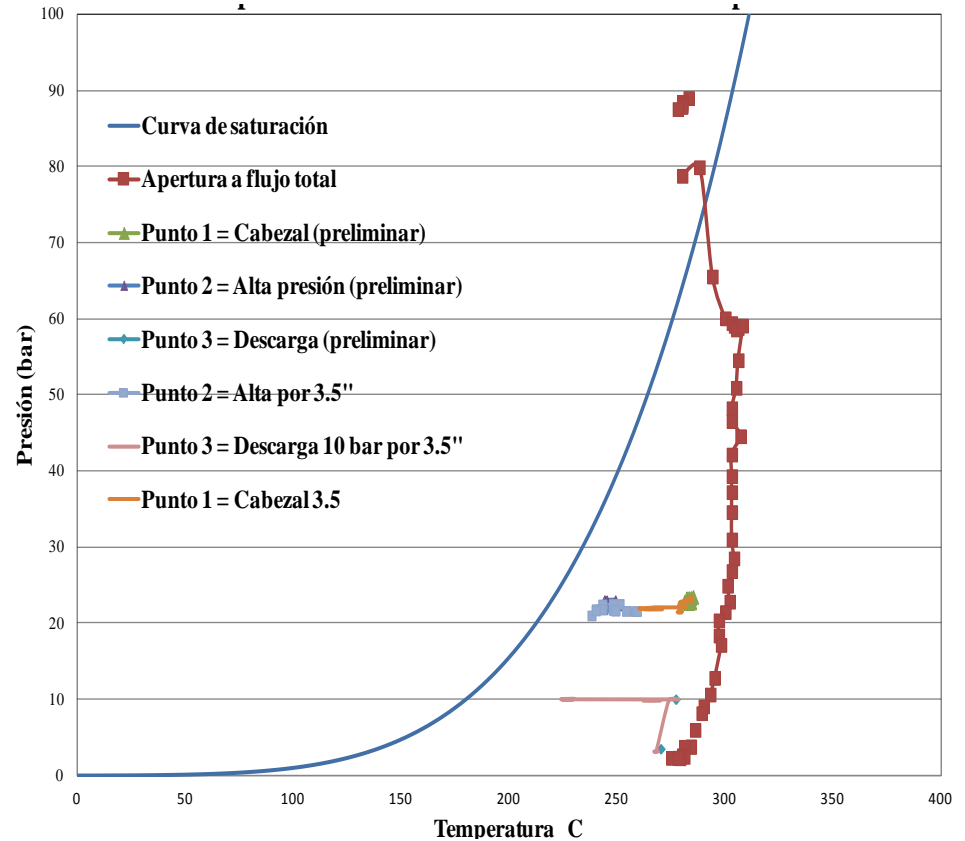
# TERMODINÁMICA DEL POZO

Durante una descarga atmosférica del pozo (para recuperar tubing perdido en éste), se obtuvo información de su comportamiento termodinámico, corroborando su condición sobrecalentada.

Termodinámica durante la apertura del pozo (descarga atmosférica)



Comportamiento termodinámico del fluido del pozo





## MECÁNICA DE CORROSIÓN

Principal agente corrosivo



Ácido clorhídrico



Cloruro de hidrógeno  
(gas en forma anhidra del HCl)



**No ataca metales ni  
aleaciones**



La nueva condición termodinámica del pozo  
y su relación con el comportamiento del HCl.

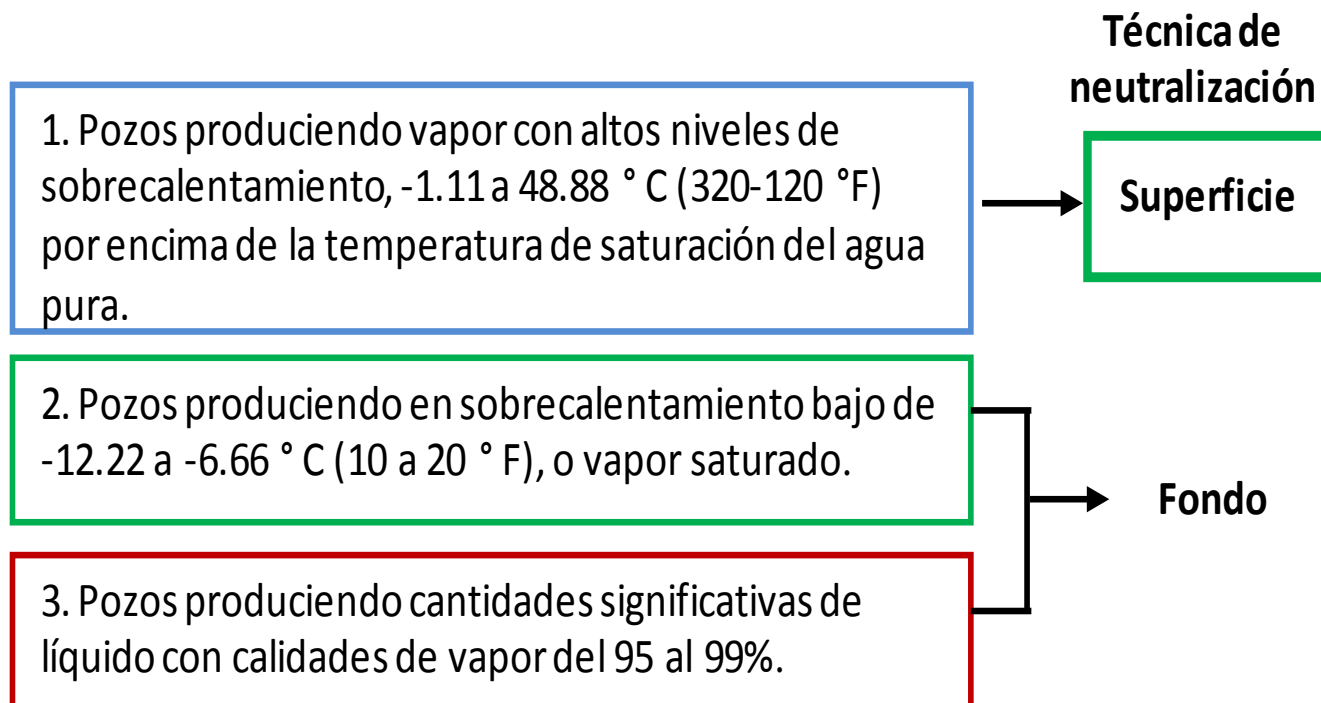


Reingeniería del sistema

## NEUTRALIZACIÓN DEL HCl

Clasificación de los pozos para definir la técnica de neutralización según su termodinámica.

“Paul Hirtz, Cliff Buck and Russell Kunzman”



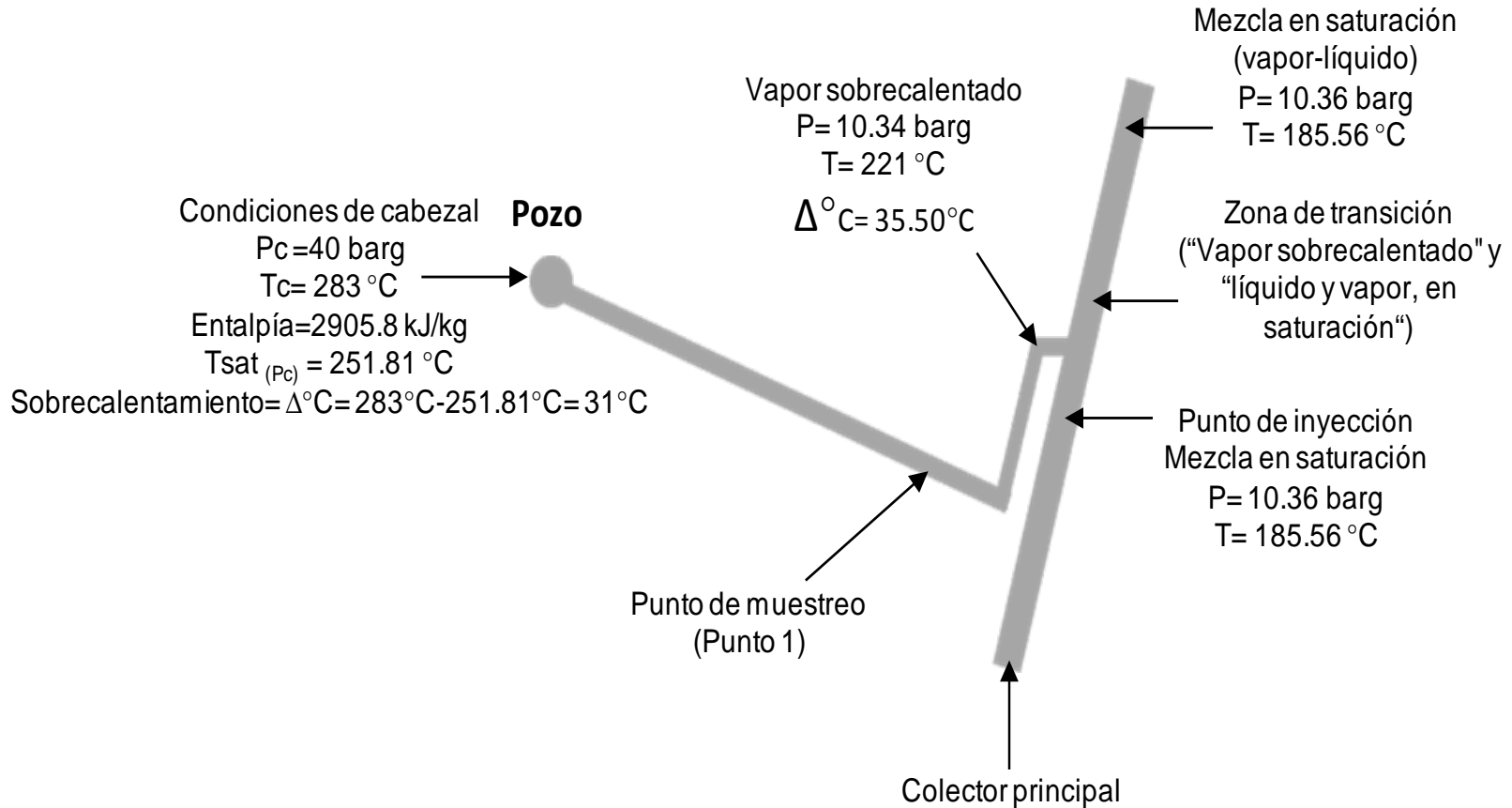
## CONDICIONES DE OPERACIÓN

El Pozo en estudio se debía operar bajo una condición conocida que permitiera el análisis de todas las variables involucradas.

Condiciones de operación del pozo	
Placa de orificio	50.8 mm (2") diámetro
Producción estimada	34 t/h de vapor sobrecalentado
Presión de cabezal	40 barg (585 psig)
Temperatura de cabezal	285 °C
Sobrecalentamiento	30 °C

El sobrecalentamiento garantizaría la fase gaseosa no hidratada del HCl, evitando con ello corrosión en la tubería de revestimiento y cabezal del pozo.

# TERMODINÁMICA DE VAPORDUCTOS



¿Dónde encontraría el vapor del pozo humedad?



**CORROSIÓN**

Se analizó la transferencia de calor al ambiente, el vapor NO saturaría, llegaría sobrecalentado hasta el colector principal.



**Fluido saturado.**

La neutralización del HCl debía de ser en un punto cercano a la interconexión de los vaporductos.

## DOSIFICACIÓN DE LA AMINA

Se tomaron muestras representativas del fluido del pozo (condensado) a las condiciones bajo las que se integraría.



23 partes por millón (ppm) de cloruros por neutralizar.



Neutralizados con una inyección de 35 l/h de solución con inhibidor al 10%.

### **Problema.-**

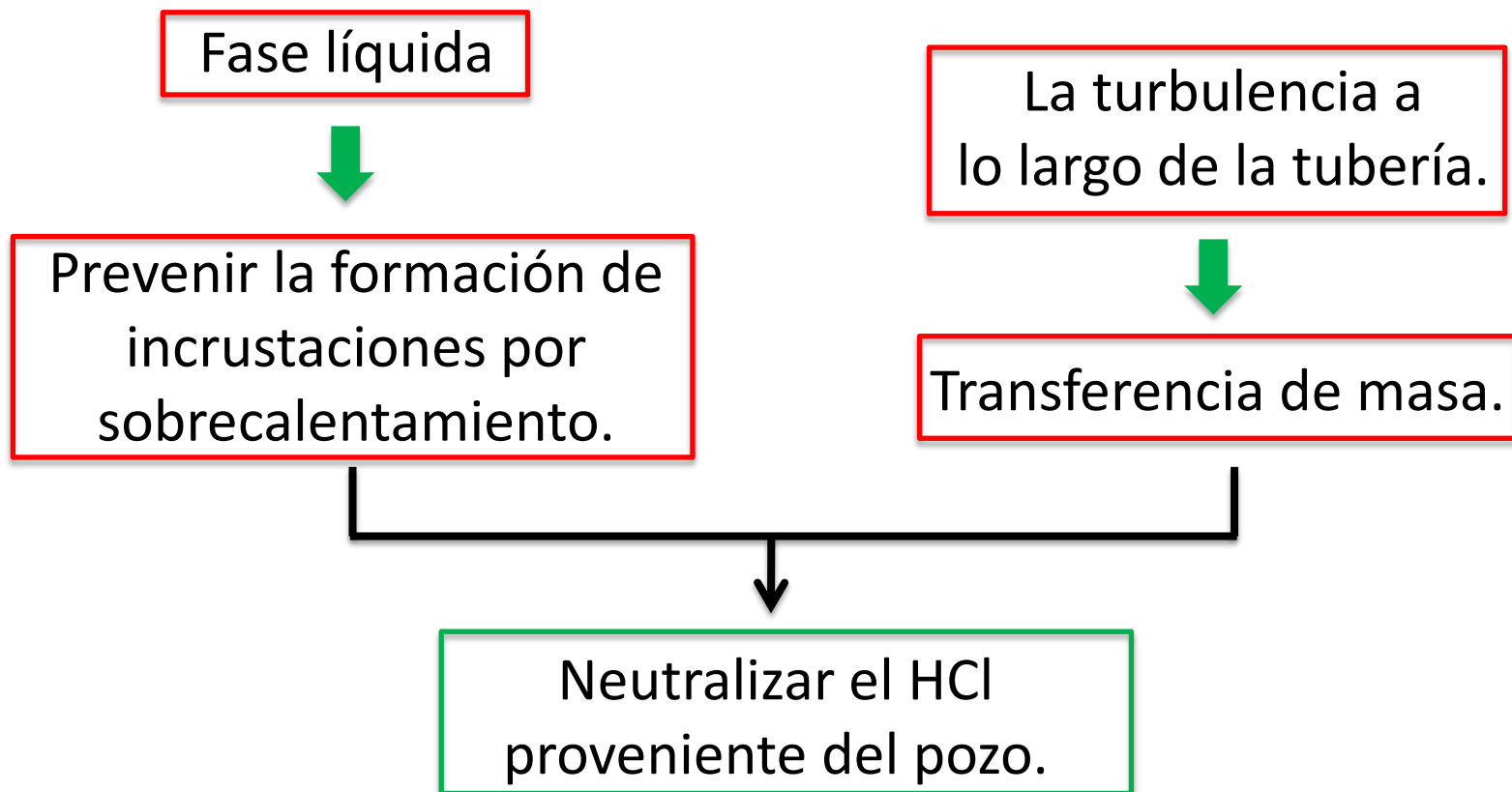
Inyectar en una zona con más de 20 °C de sobrecalentamiento forma incrustaciones de cloruro de potasio.

### **Solución.-**

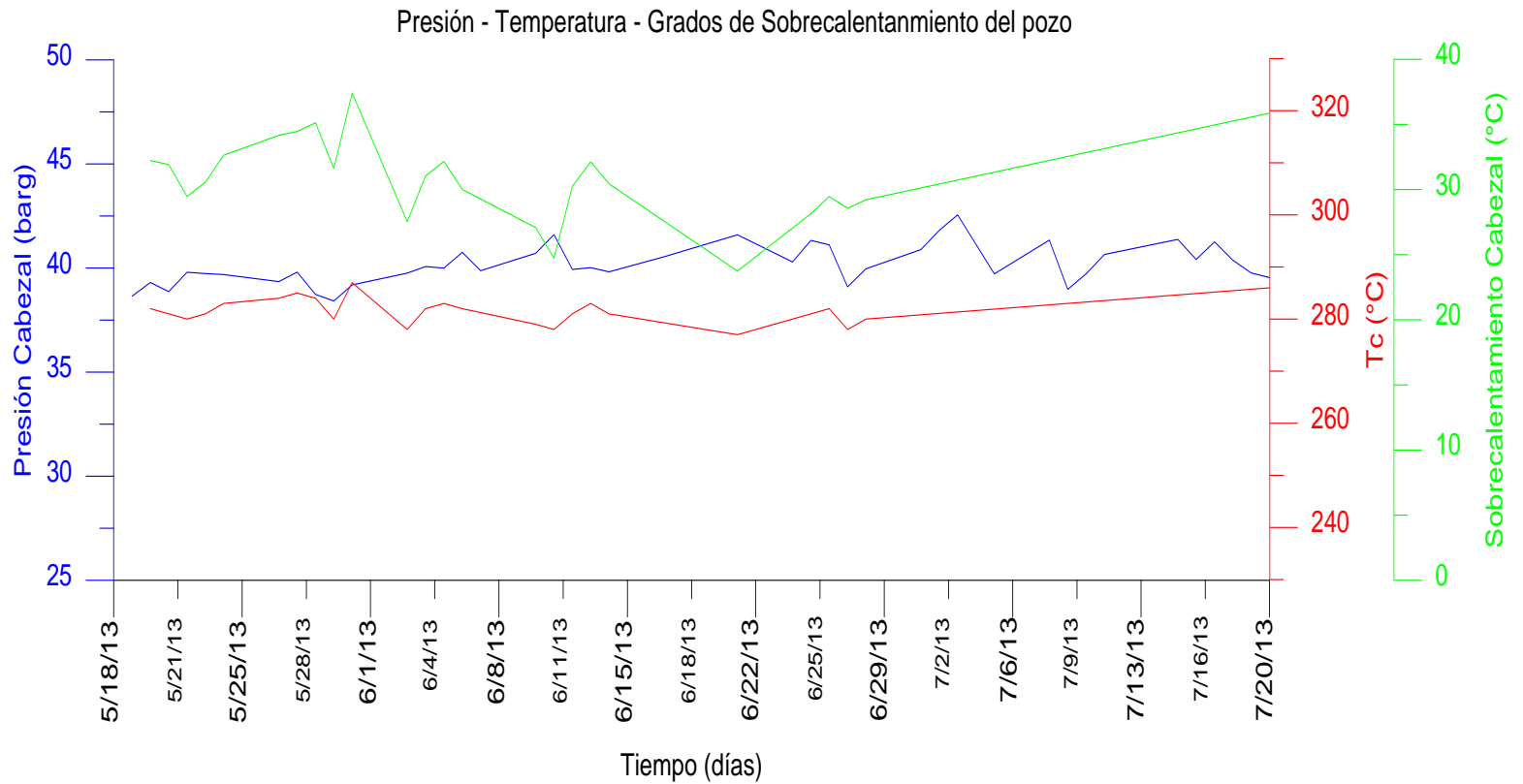
Inyectar este inhibidor en el vaporducto colector principal, donde las condiciones son las adecuadas para tener un mezclado adecuado y evitar incrustaciones por cristalización.

## NEUTRALIZACIÓN EN SUPERFICIE

La inyección del inhibidor está localizada a cinco metros antes de la interconexión con el vaporducto del pozo, en el vaporducto colector principal.



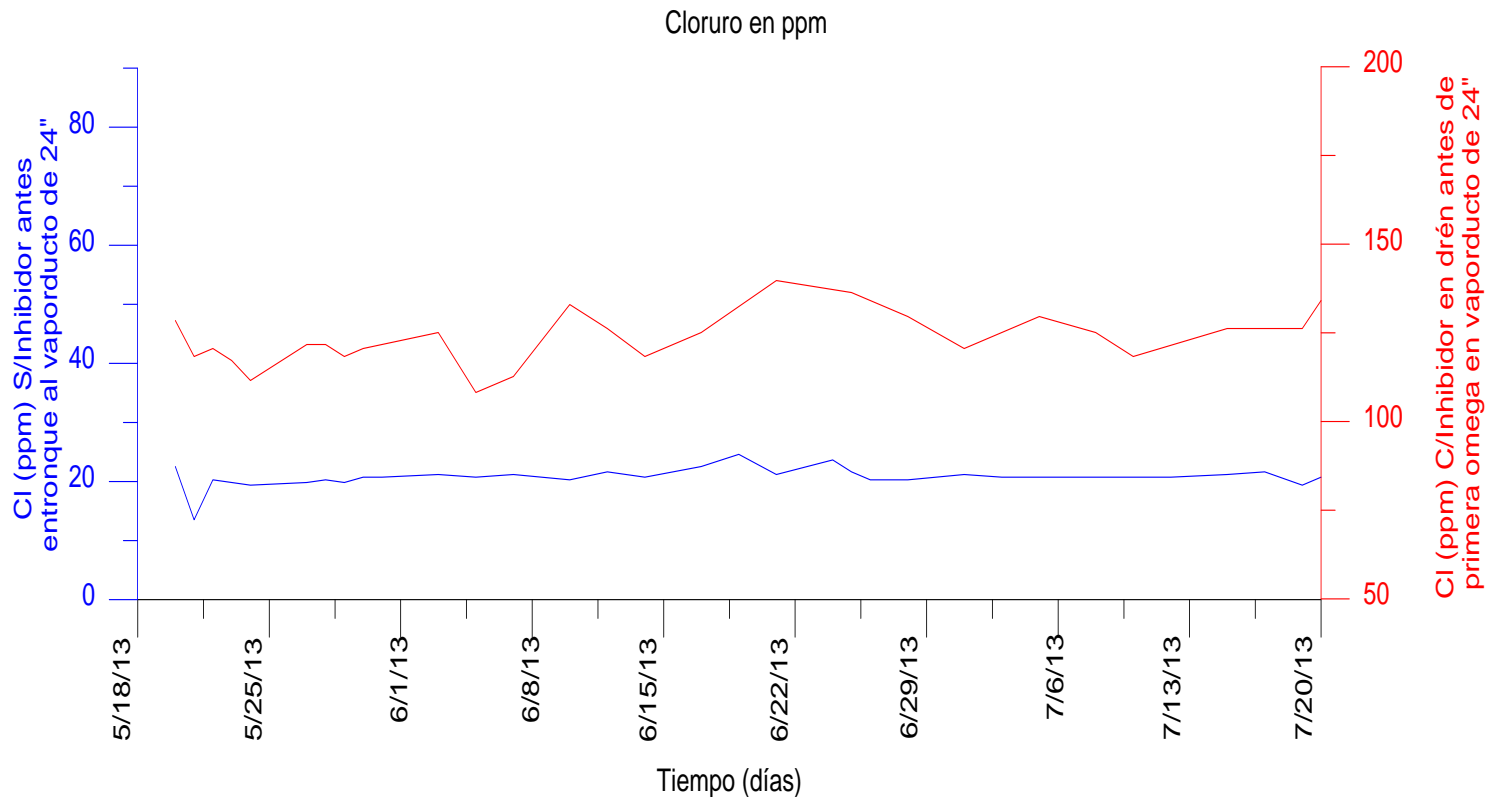
# SEGUIMIENTO TERMODINÁMICO DEL POZO





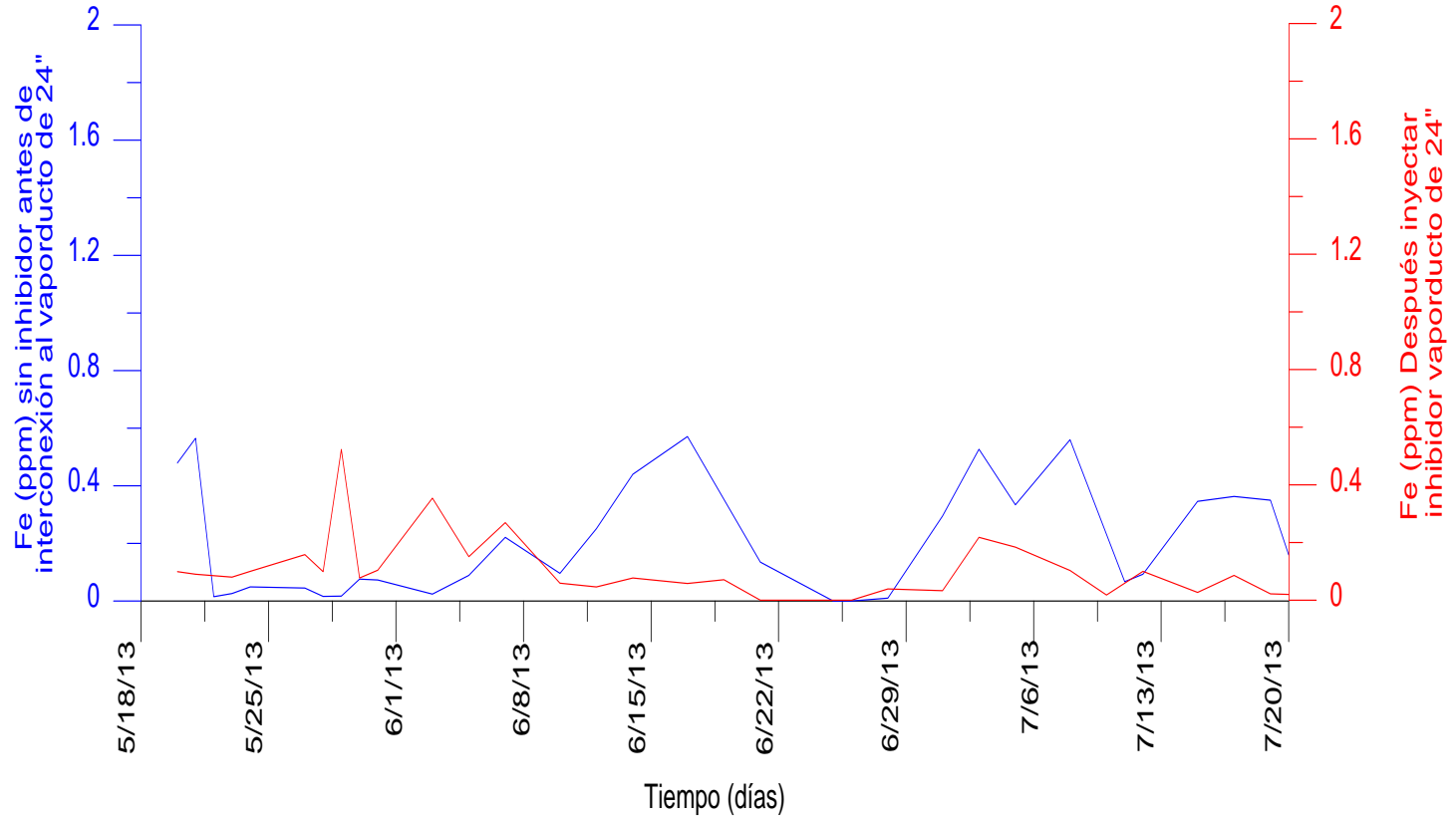


# SEGUIMIENTO QUÍMICO (CLORURO)



# SEGUIMIENTO QUÍMICO (HIERRO)

Hierro en ppm





*Comisión Federal de Electricidad*

## **IMPORTANTE**

Aunque se miden otros parámetros, los anteriormente mencionados son los mínimos que deben ser monitoreados. Además, actividades periódicas y complementarias de vigilancia que se realizan consisten en: inspecciones visuales y medición de espesores del cabezal del pozo, válvulas y tuberías que están en contacto con el fluido, dando como resultado valores aceptables.



*Comisión Federal de Electricidad*

## **CONCLUSIONES**

Los pozos sobrecalentados pueden ser operados de manera satisfactoria, aprovechando el comportamiento del HCl en este tipo de vapor e inyectando un inhibidor de corrosión donde la humedad está presente. Además, existe la posibilidad de mejorar los sistemas de neutralización en el futuro cercano, para hacerlos más eficientes.



*Comisión Federal de Electricidad*

## **CONCLUSIONES**

La inyección del inhibidor, ayuda a prevenir la corrosión en las tuberías y equipo superficial en general, logrando el aprovechamiento de este tipo de vapor en las centrales de generación. La producción esperada en este tipo de pozos se encuentra alrededor de las 35 toneladas por hora, lo que equivale a una generación de electricidad de 4.5 MWe. Además, son pozos que tienen una presión de cabezal suficientemente alta que permite incrementar la producción mediante la utilización de placas de orificio de mayor diámetro.



*Comisión Federal de Electricidad*

## **CONCLUSIONES**

La implementación del sistema de neutralización ha tenido un gran impacto en el desarrollo futuro del campo geotérmico de Los Humeros, ya que abre la posibilidad de explotar pozos en el yacimiento profundo que presentan características termodinámicas y de acidez similares, o pozos con fluidos en condiciones de saturación. Esto representa alrededor de 100 MWe de generación eléctrica adicional.



*Comisión Federal de Electricidad*

## **AGRADECIMIENTOS:**

Los autores desean agradecer al ingeniero Raúl Maya González, quien estuvo al frente de la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, por su apoyo constante durante este proyecto.

Los autores también agradecen a todas aquellas personas quienes de forma directa o indirecta, participaron y continúan participando en este proyecto.



*Comisión Federal de Electricidad*

**GRACIAS**