

## Resultados geológicos de la perforación del pozo H-43 en Los Humeros, Pue.

**Víctor Santiago Rocha López, Esteban Jiménez Salgado y Germán R. Ramírez Silva**

*Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoelectricos. Correo:*

[victor.rocha@cfe.gob.mx](mailto:victor.rocha@cfe.gob.mx)

### Resumen

El Departamento de Exploración y la Residencia de Los Humeros de la Gerencia de Proyectos Geotermoelectricos realizaron una campaña de estudios geológico-estructurales y un análisis de la información de pozos preexistentes a fin de determinar la mejor ubicación para perforar en una nueva plataforma el pozo H-43 como pozo productor. Su objetivo estructural fue interceptar la zona de fracturamiento del sistema escalonado N-S que incluye a las fallas Malpaís, Antigua y La Cuesta con buzamiento al oriente, en una zona de interés de 1300-2200 m de profundidad. En reuniones multidisciplinarias realizadas durante la perforación del pozo, se decidió dejarlo en agujero descubierto a partir de los 1250-2200 m por el riesgo de estar ubicado en una zona ácida. Los 2200 m de perforación se alcanzaron en 89 días. La falla La Antigua es responsable de la producción de los pozos H-37D y H-35 así como del desnivel o salto de falla de aproximadamente 280 m que se manifiesta en la cima de las calizas entre los pozos H-43 (1740 m) y H-16 (2020 m), y cuya expresión morfológica no se manifiesta actualmente en superficie. De acuerdo con la interpretación de registros FMI realizados después de terminar el pozo, se confirmó la existencia del sistema de fracturamiento conjugado N-S a profundidades mayores de los 1300 m. La temperatura máxima alcanzada de acuerdo con registros de temperatura es de 350° C. Las temperaturas estabilizadas calculadas a los 1250 m son de 228° C y a los 2200 m de 383° C, lo que indica que el fluido se encuentra en la región supercrítica y que el pozo podría presentar problemas de corrosión. No se había previsto que el pozo alcanzara temperaturas tan elevadas, pero en el subsuelo del H-43 tienen lugar procesos metasomáticos e hidrotermales activos que afectan a la secuencia calcárea y volcánica. Los objetivos geológico-estructurales y geofísicos de resistividad se cumplieron satisfactoriamente. Una herramienta de valor agregado fue el monitoreo sísmico y aplicación de los mecanismos focales. El pozo se evaluó a cinco días de su apertura obteniendo una producción de vapor de 60 t/h y una producción de agua de 0.4 t/h, con una presión de cabezal de 50 bars.

## Geological results of drilling of well H-43 in Los Humeros, Pue.

### Abstract

The Department of Exploration and the Residencia of Los Humeros of the Gerencia de Proyectos Geotermoelectricos conducted a campaign of structural-geological studies and analysis of data from existing wells to determine the best location for a new drilling pad for the well H-43 as producer well. Its structural aim was to intercept the zone of N-S fracturing en échelon system that includes the Malpaís, Antigua and La Cuesta faults with dip to the east, into an area of interest of 1300-2200 m

depth. In multidisciplinary meetings conducted during the well drilling, it was decided leave the well hole without casing from 1250-2200 m depth, because the risk of being located in an acid zone. The total depth of 2200 m was completed in 89 days. La Antigua fault is the cause of production in wells H-37D and H-35, as well as the fault throw of around 280 m observed at the limestone top between well H-43 (1740 m) and H-16 (2020 m); there is no present topographic expression of this fault at surface. According to interpretation of FMI logging after the well completion, the conjugate N-S fracture system was confirmed at depth over 1300 m. The maximum temperature reached by well logs is 350° C. Stabilized temperature calculated at 1250 m depth was 228° C, and at 2200 m was 383° C, indicating the fluids are in the supercritical region and the well could experience corrosion problems. It was not consider the well reaches so high temperatures, though at the subsurface of the well H-43 take place active hydrothermal and metasomatism processes affecting the calcareous and volcanic sequence. The structural-geological and geophysical objectives of the well were satisfactorily met. One useful tool was the seismic monitoring and implementation of focal mechanisms. The well was evaluated five days after opening getting steam production of 60 t/h, 0.4 t/h water at head pressure of 50 bars.

## 1. Antecedentes

El campo geotérmico de Los Humeros, Puebla, cuenta en la actualidad con un total de 20 pozos productores, agrupados en tres sectores:

Sector Sur	Q Vapor T/h. 166.7	Q agua T/h 22.4
Sector Centro	Q Vapor T/h 94.2	Q agua T/h 59.9
Sector Norte	Q Vapor T/h 460.9	Q agua T/h 37.6
Total	Q Vapor T/h 721.8	Q agua T/h 119.9

Con el propósito de satisfacer la demanda de vapor en la zona sur y norte del campo, es necesario contar con vapor de reposición para incrementar la capacidad de generación de 35MW con la perforación de 3 pozos profundos: 2 en el sector sur (H-41 y H-42) y 1 en el sector norte H-43. Todos en plataformas nuevas.

Ante la expectativa de crecimiento inminente del campo con la perforación de nuevos pozos, y sustentado con la reinterpretación y análisis de la información preexistente, se presentan las propuestas de ubicación de las nuevas plataformas para la perforación de nuevos pozos así como sus características. Los estudios geológicos sustento de la perforación de 3 pozos se localizan en la “Propuesta Para Pozos de Respaldo en el C.G Los Humeros” Informe OGL-HM-01/06. Producto de un trabajo en conjunto del Departamento de Exploración.

El C.G de Los Humeros, se ubica dentro una estructura volcánica conocida como la caldera de Los Humeros, en cuyo subsuelo se ubica un yacimiento geotérmico actualmente en explotación.

Se solicitó a la Subgerencia de Estudios su intervención para resolver las necesidades de demanda de vapor, con la propuesta de localizar una nueva plataforma para la perforación del pozo H-43 profundo. La zona poniente del H-43 no posee una característica morfológica en superficie de escarpes de falla,

alineamiento de manantiales, configuración de drenaje, por lo cual la presencia de las Estructuras Norte-Sur: Malpaís y Antigua se ha inferido su posición en superficie. Con la incertidumbre de la tectónica actual de que si pertenece a una etapa de fallamiento normal que inicie en el basamento calcáreo y prosiga la reactivación con la sismicidad actual.

## 2. Estudios Previos

## **2.1. Estudios Geológicos**

El C.G de Los Humeros, se caracteriza por presentar una complejidad en su interpretación, ya que involucra principalmente el aspecto geológico-estructural que controla la distribución de los fluidos en un medio fracturado.

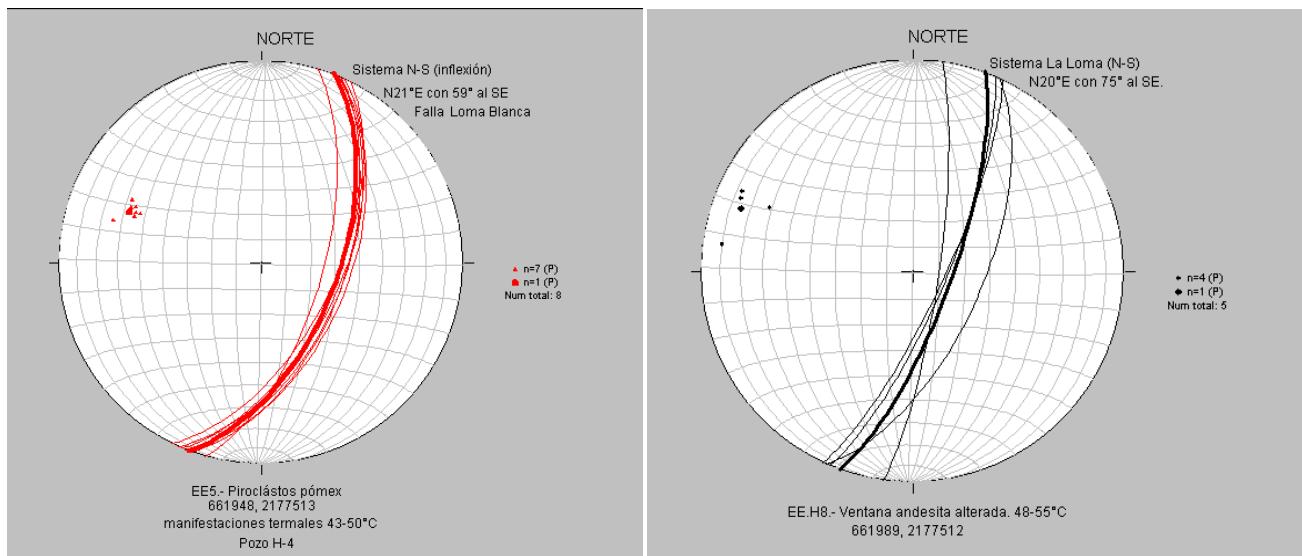
Tectónica>Esfuerzo-Deformación> Sismos> Fracturamiento-fallamiento> Permeabilidad

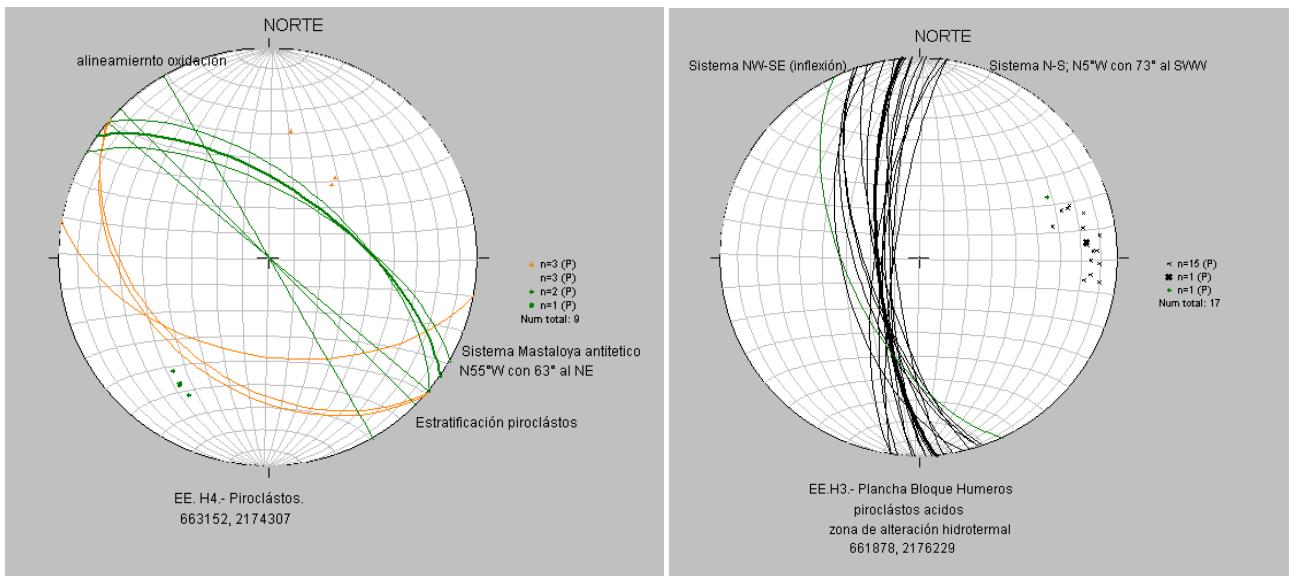
Calor+ agua > Presión de poro > Fracturamiento Local > Microsismicidad.



Los estudios geológicos previos a la localización del H-43, se sustentaron en la búsqueda y recolección de datos estructurales, que nos permitieran visualizar, identificar y ubicar con mayor precisión la geometría de los sistemas estructurales presentes, así como la de empezar una campaña de actualización del termalismo activo asociado a sistemas estructurales.

La toma de datos estructurales nos permitió elaborar los correspondientes estereogramas.





Se puso especial énfasis en esclarecer, la geometría y ubicación de las Fallas Malpaís, Antigua y La Cuesta, y con posterioridad determinar cual es el sistema de falla que desplaza la profundidad de la cima de las calizas entre los pozos H-9, H-37D, H-35 y H-16.

Un pequeño alineamiento morfológico asociado zona de alteración hidrotermal y termalismo activo detectado por un estudio termométrico a profundidad es la estructura denominada Falla La Cuesta con buzamiento al oriente. El pozo H-43, fue localizado en el bloque alto de esta estructura.

La zona de interés geotérmico propuesta por geología estructural, quedo sustentada para interceptar el Sistema Estructural de fracturamiento-fallamiento N-S de la falla Malpaís y La Antigua con buzamiento al Este, a partir de los 1300m, y llegar a la cima de las calizas en el orden de los 1800m de profundidad.

La cima de las calizas entre los pozos H-9 (1720m), H-37D (1750m), H-43 (1740m) se localizan en el bloque alto (foot wall) y H-16 (2020m) localizado en el bloque bajo (hanging wall).

## 2.2. Estudios Geofísicos

El CG. Los Humeros, ha sido objeto de un gran numero de estudios geofísicos. El Objeto de estos estudios es visualizar e interpretar las propiedades físicas del subsuelo y su relación con las zonas de termalismo activo.

Dentro de los Estudios efectuados se enumeran los siguientes:

- Sondeos Eléctricos Verticales. (SEV)
- TDEM
- Gravimetría
- Sísmica Pasiva (Monitoreo Sísmico Actual).

## 3. Objetivos del pozo (sustento técnico)

El documento oficial que da sustento a la perforación del pozo H-43, es el “Informe OGL-HM-01/06: Propuesta para pozos de Respaldo en el CG. Los Humeros H-41, H-42 y H-43”.

### 3.1. Objetivos Geológico-Estructurales

Ante ciertas incógnitas que se venían manejando sobre la geometría del subsuelo, ubicación relativas a zonas de fracturamiento-fallamiento de tendencia N-S con buzamiento al oriente, propuesta por estudios de gravimetría que se inferían a profundidad los Sistemas Malpaís y Antigua de orientación NW-SE en el sector sur del campo y con una inflexión a N-S en la zona norte, con la adición de un pequeña fragmento de la Falla La Cuesta asociados a la presencia de manifestaciones termales.

La zona de interés geotérmico propuesta y sustentada por geología estructural, quedo sustentada para interceptar el Sistema Estructural de fracturamiento-fallamiento Norte-Sur de la falla Malpaís y La Antigua con buzamiento al Este, a partir de los 1300m, y llegar a la cima de las calizas en el orden de los 1800m de profundidad.

Tomando en cuenta la profundidad de la aparición de las calizas entre los pozos H-9 (1720), H-37D (1750) localizados en el bloque alto (foot wall) y H-16 (2020m) localizado en el bloque bajo (hanging wall), se creo la incógnita de resolver este problema.

Con el objetivo de corroborar la presencia y geometría del Sistema N-S, que se manejaba a manera de hipótesis, sin tener el argumento técnico de su presencia. Y ante la eminente perforación del H-43.

Una herramienta útil que permitiría conocer y comprobar la geometría de los sistemas estructurales N-S: Malpaís y Antigua, en el subsuelo en la zona norte y determinar cual sistema de falla desplaza la cima de las calizas. Era la toma de Registros FMI a lo largo de la zona de interés del pozo.

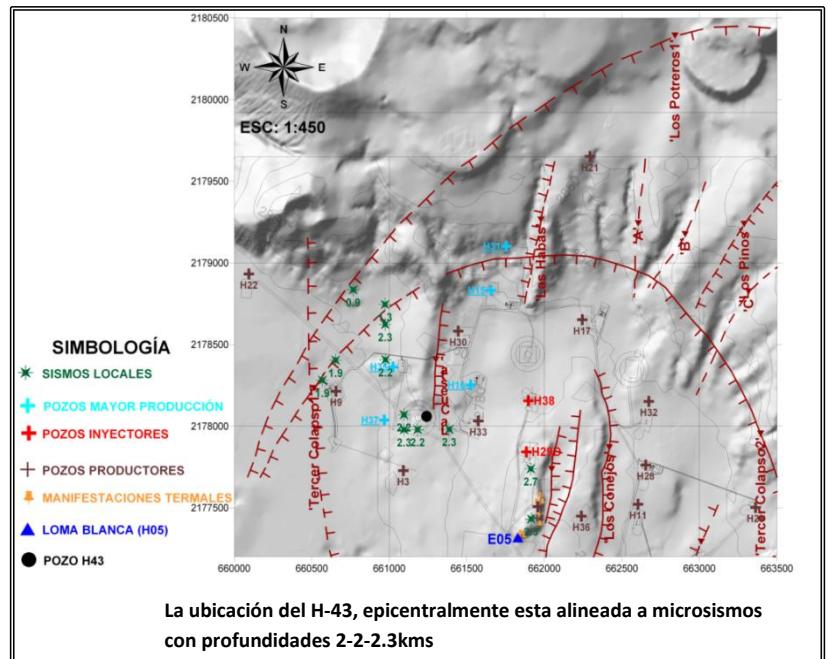
Estos registros permiten la caracterizar litológicamente el pozo: determinado el grado de la densidad de fracturamiento por unidad de metro, determinar la orientación y buzamiento de las fracturas y fallamiento reportado en el pozo, con el valor agregado de que estas se presentan orientadas al Norte.

### 3.2. Objetivos Geofísicos

**a). Estudios de resistividad.** La ubicación del H-43, quedo sustentada para interceptar la discontinuidad geoeléctrica resistiva intermedia de 80 ohm-m, asociada con el contacto del cuerpo volcánico y el basamento calcáreo, localizado en el intervalo aproximado de los 1750-2200 m de profundidad. Esta anomalía eléctrica se relaciona con la anomalía termal de alta temperatura.

**b). Sísmica Pasiva.** Durante el periodo Diciembre 2005 a Octubre 2006 la sismicidad en el campo geotérmico, presentó una mayor concentración sobre la Falla Antigua y La Cuesta, en la zona de los pozos de mayor producción, H35 y H37; podemos concluir que la *Falla Antigua* y la *Falla La Cuesta*, se encuentran activas. Esto de acuerdo a la orientación y al tipo de falla, obtenidos del análisis de sus mecanismos focales simples; y de acuerdo a la distribución tanto en planta como en perfil de esta sismicidad, que inicio probablemente desde el año de 2004.

La interpretación de los mecanismos focales corresponde a fallamientos de tipo normal, inverso y de transcurcencia. El análisis y resultados del monitoreo sísmico, no se terminó al concluir la propuesta del pozo H-43.



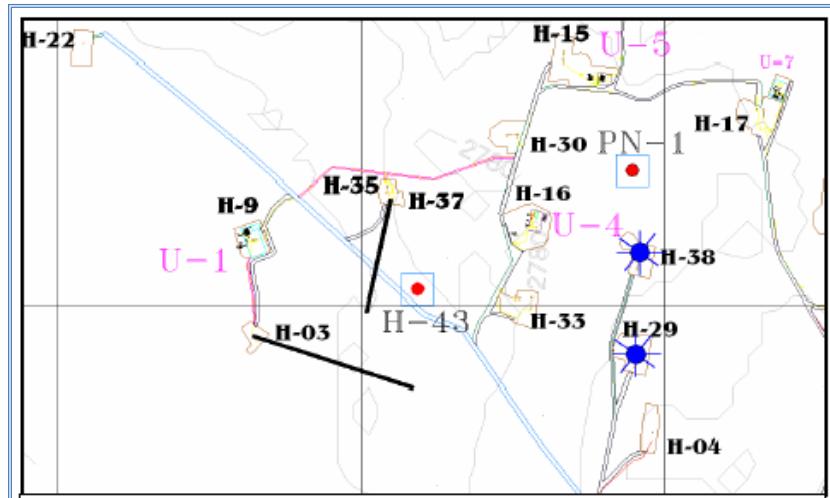
Distribución Localización de sismos locales en el periodo Diciembre 2005 a Octubre 2006.

**3.3. Tabla de Objetivos.** La presente fue la integración de ambas disciplinas.

Pozo H-43 (zona norte)	
<b>UBICACIÓN:</b>	<b>PLATAFORMA :</b> Nueva
<b>COORDENADAS ORIGEN:</b>	<b>COORDENADAS OBJETIVO</b>
X: 661240	X: 661240
Y: 2178060	Y: 2178060
Z: 2780m.s.n.m.	Z: 580m.s.n.m
<b>TIPO POZO:</b> Vertical	<b>RUMBO DESVIACIÓN:</b> No aplica
<b>DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL:</b> No aplica	
<b>PROFUNDIDAD TOTAL VERTICAL:</b> 2200m	
<b>PROFUNDIDAD TOTAL DESARROLLADA:</b> 2200m.	
<b>OBJETIVO:</b> Interceptar zona de fracturamiento del Sistema falla escalonado N-S: Malpaís, Antigua y La Cuesta con caído al oriente. Así como la zona definida por el gradiente eléctrico asociado con el basamento calcáreo 1750-2200m	
<b>OBJETIVO TERMAL:</b> Dejar en liner ranurado a partir de 1300m	
<b>ZONA DE INTERÉS.</b> 1300-2200m.	

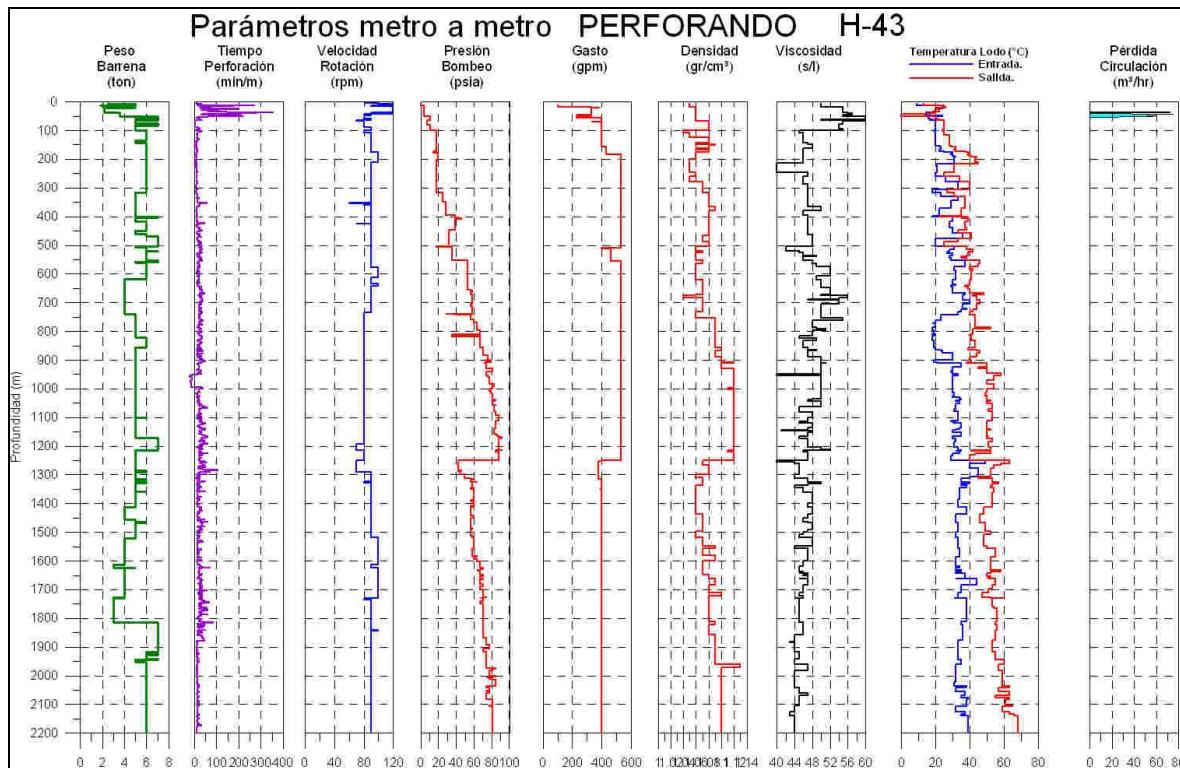
#### 4. Perforación del pozo H-43

##### 4.1. Localización



Propuesta de localización del pozo H-43.

#### 4.2. Parámetros de perforación



El parámetro del PH del lodo de perforación varío 8.5-10 a partir de los 257-2220m.

El enjarre del lodo es de 1.5mm, a partir de los 552-2200m de profundidad.

El diferencial notorio de temperatura de Entrada y salida de los lodos, se visualiza a partir de los 500m, hasta la profundidad total.

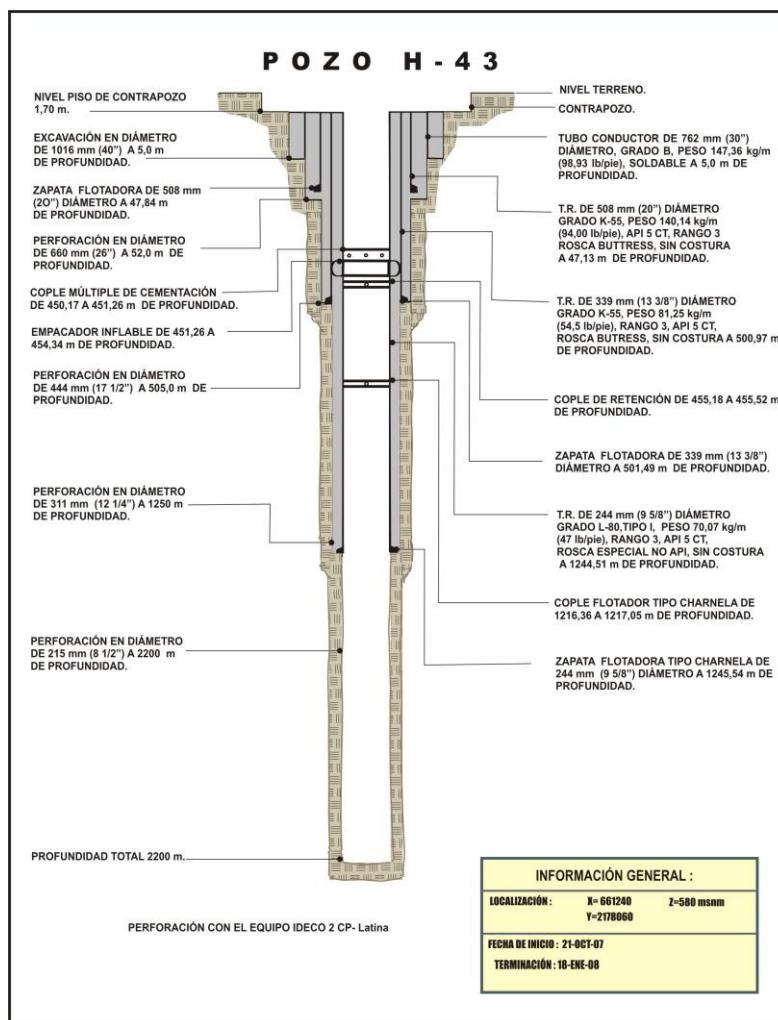
#### 4.3. Terminación del pozo

Los trabajos de la perforación del pozo inician el lunes 22 de octubre 2007, con una barrena de 26" de diámetro hasta los 52m, prosiguen con 17 ½ hasta los 505m, para correr tubería de revestimiento de

339mm. Continúan con barrena de 12 1/4 hasta los 1250m, donde se prepara tubería de revestimiento de 9 5/8. Y se corren Registros de P-T.

A partir de los 1250-2200 la perforación se efectúa con barrena de 8 1/2. La terminación de la perforación hasta la profundidad total se da por concluida con el desmantelamiento del equipo el sábado 18 de enero del 2008.

En la toma de registros de Presión y Temperatura, con la circulación de fluidos para enfriar el pozo y durante su lavado, se obtuvieron pérdidas totales a partir de los 1800m.



Croquis terminación pozo

#### 4.4. Evaluación del pozo

A cinco días de su apertura del pozo se evaluó:

Pc = 50 bars (presión de cabezal)

Qv= 60 t/h, equivalentes a 4.6 Mw

Qa= 0.4 t/h

Ph= 5.8 condensado

## 5. Registros efectuados durante la perforación

Durante la perforación del pozo H-43, se efectuaron dos tomas de series de registros:

### 5.1.- A la profundidad de 1250m.

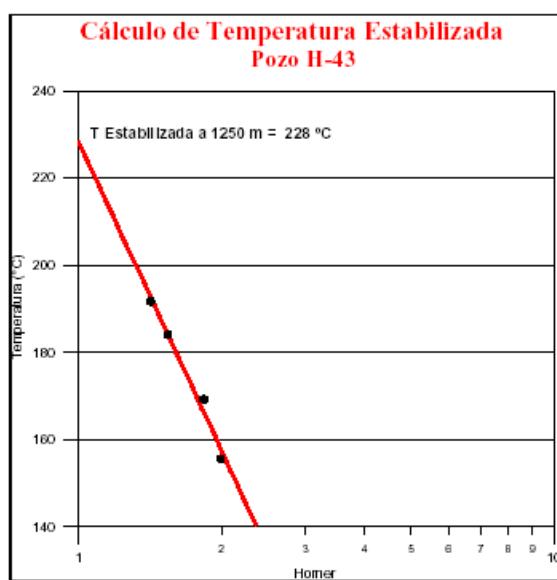
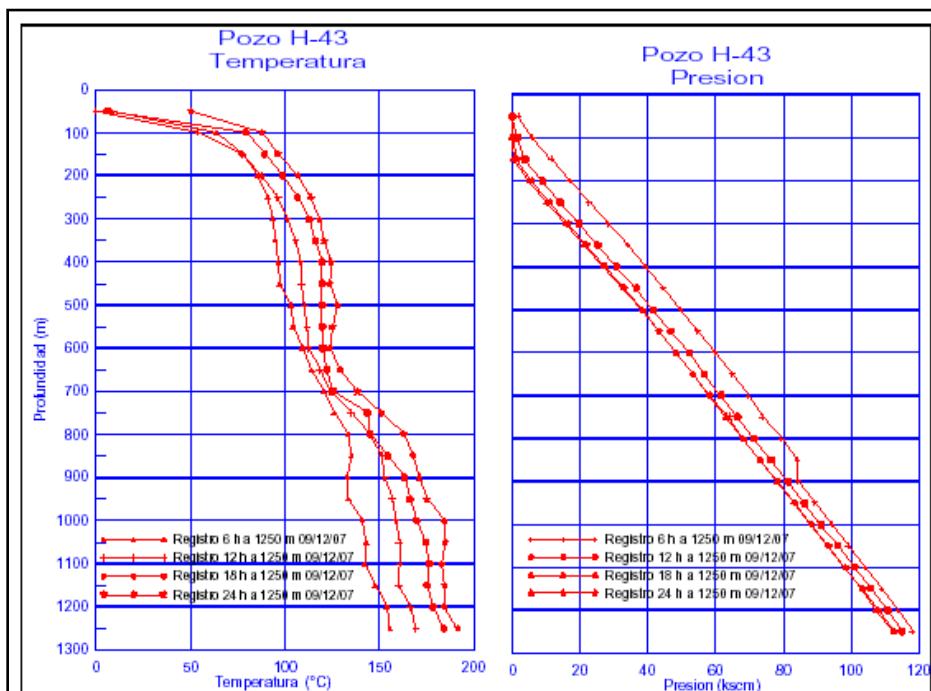
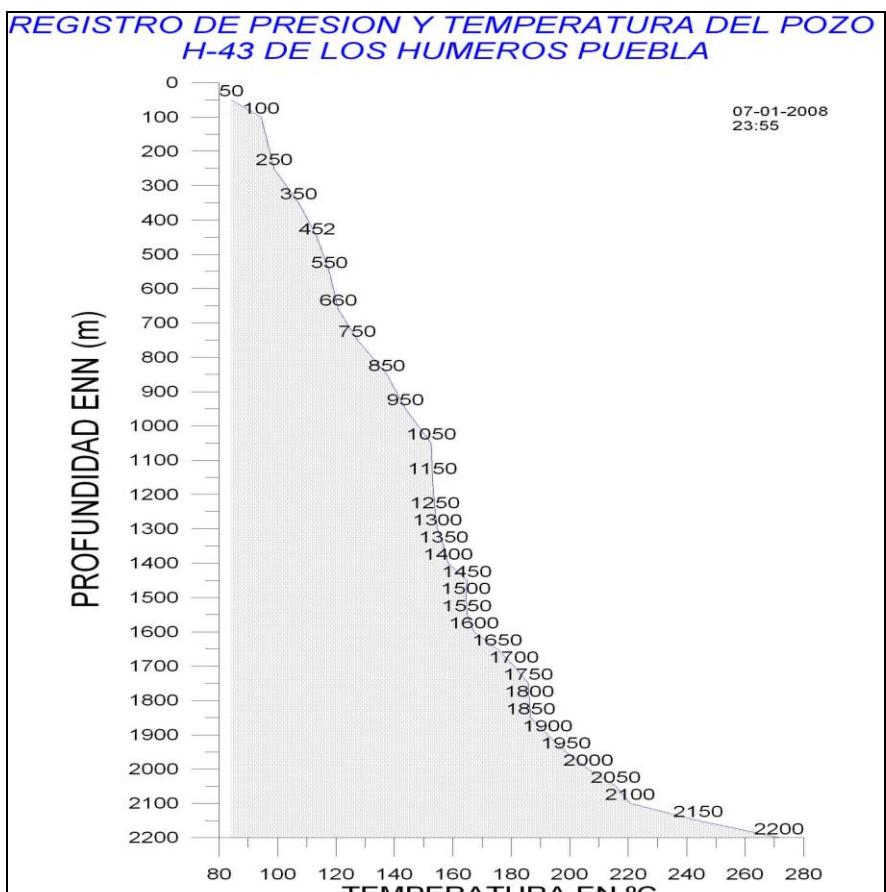


Grafico calculo temperatura estabilizada 1250m

## 5.2. A la profundidad Total 2200m

A esta profundidad se realizaron varios registros:



Registro Temperatura con 4 horas de reposo al llegar a los 2200m. (Previo al FMI)

### 5.2.1. Registros Schlumberger

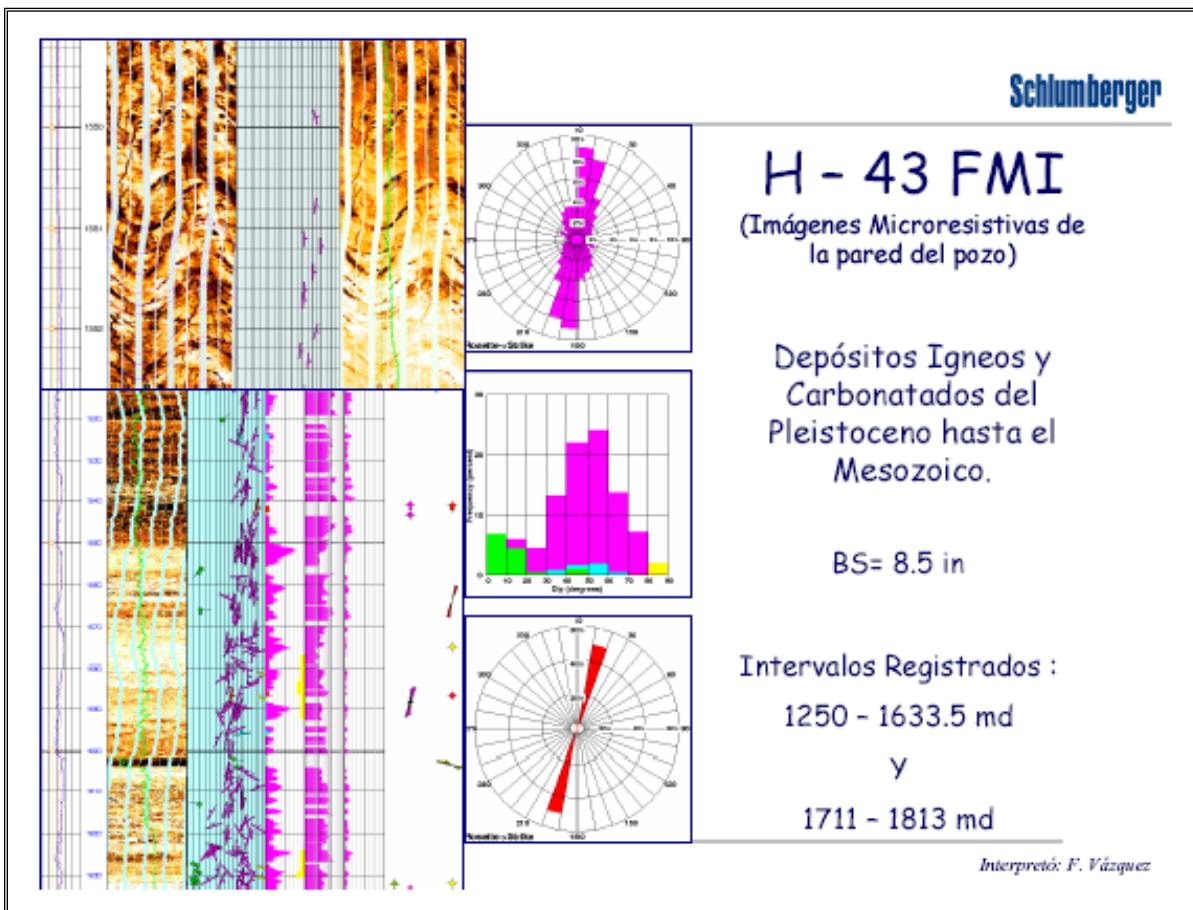
El Departamento de Exploración, propuso e insistió sobre la necesidad de correr registros FMI (Fullbore Formation MicroImager) durante la etapa de perforación, a lo largo de la zona de interés, estos se tomaron al finalizar el pozo.

Sin embargo, la toma de estos registros se hizo en dos intervalos de profundidad 1250-1633m y 1711-1813m, debido a las altas temperaturas reportadas en el pozo y por la falta de la herramienta que soporta mayor rango de temperatura.

A continuación se incluyen algunas conclusiones y recomendaciones del análisis del registro por parte de la compañía.

- La imagen FMI, logró detectar fracturas naturales conductivas y resistivas, fallas y fracturas resistivas.

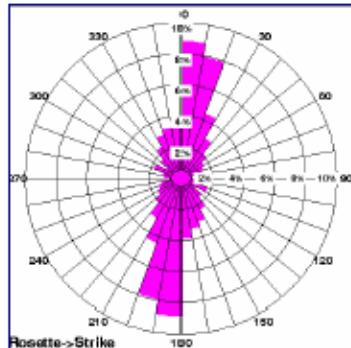
- La FMI permitió identificar zonas de texturas variables debido a la heterogeneidad volcánica, así como el efecto hidrotermal activo en el yacimiento.
- Las fracturas naturales conductivas presentan orientaciones preferenciales N-S y NNE-SSW, presentes a lo largo del intervalo registrado
- Las fracturas naturales resistivas presentan orientaciones N-S y ENE-WSW, en intervalos determinados.
- Las fallas identificadas presentan una orientación preferencial NNE-SSW, y se concentran en la parte inferior el pozo.
- La litología presenta fracturamiento de acuerdo a la estimación en base RHOZ y DSI (Registro de Densidad y Sónico Dipolar).



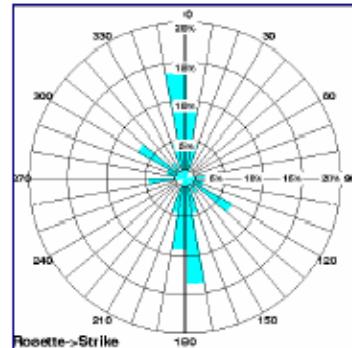
H-43

Schlumberger

Rumbo de las Fracturas identificadas  
en el intervalo registrado



Fracturas  
Conductivas  
(N = 455)



Fracturas  
Resistivas  
(N = 22)

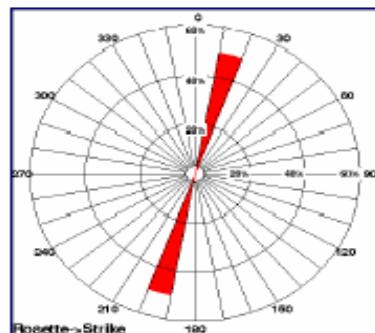
Rosetas de rumbo



H-43

Schlumberger

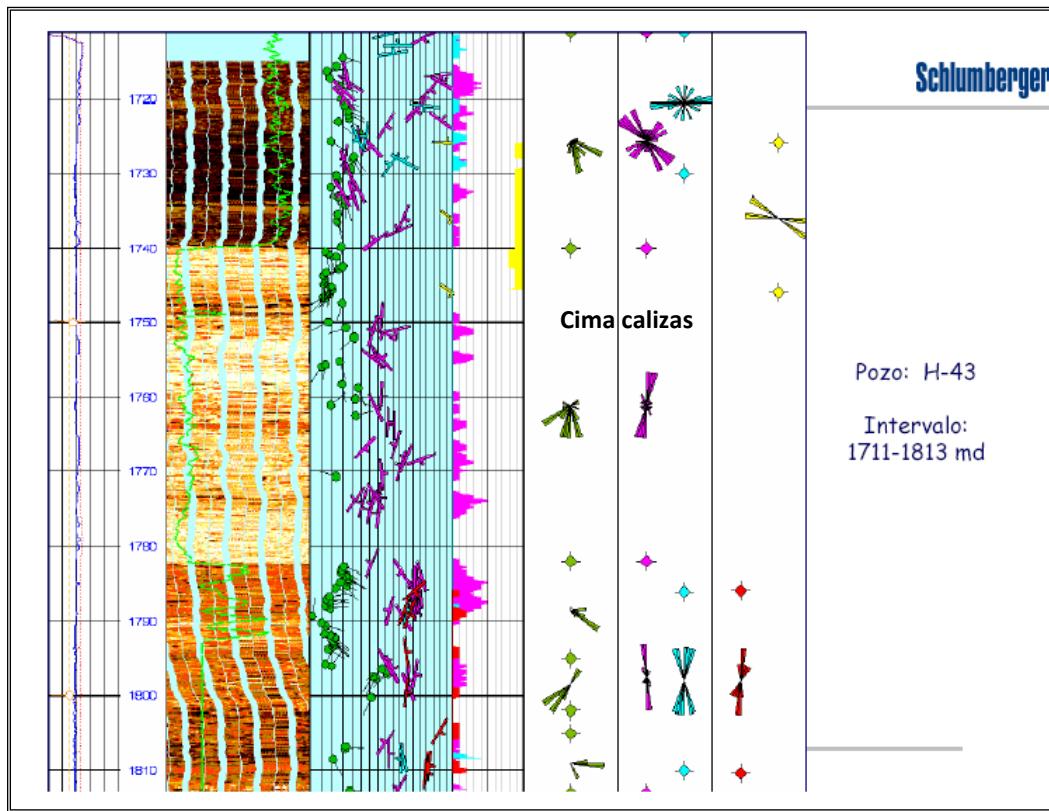
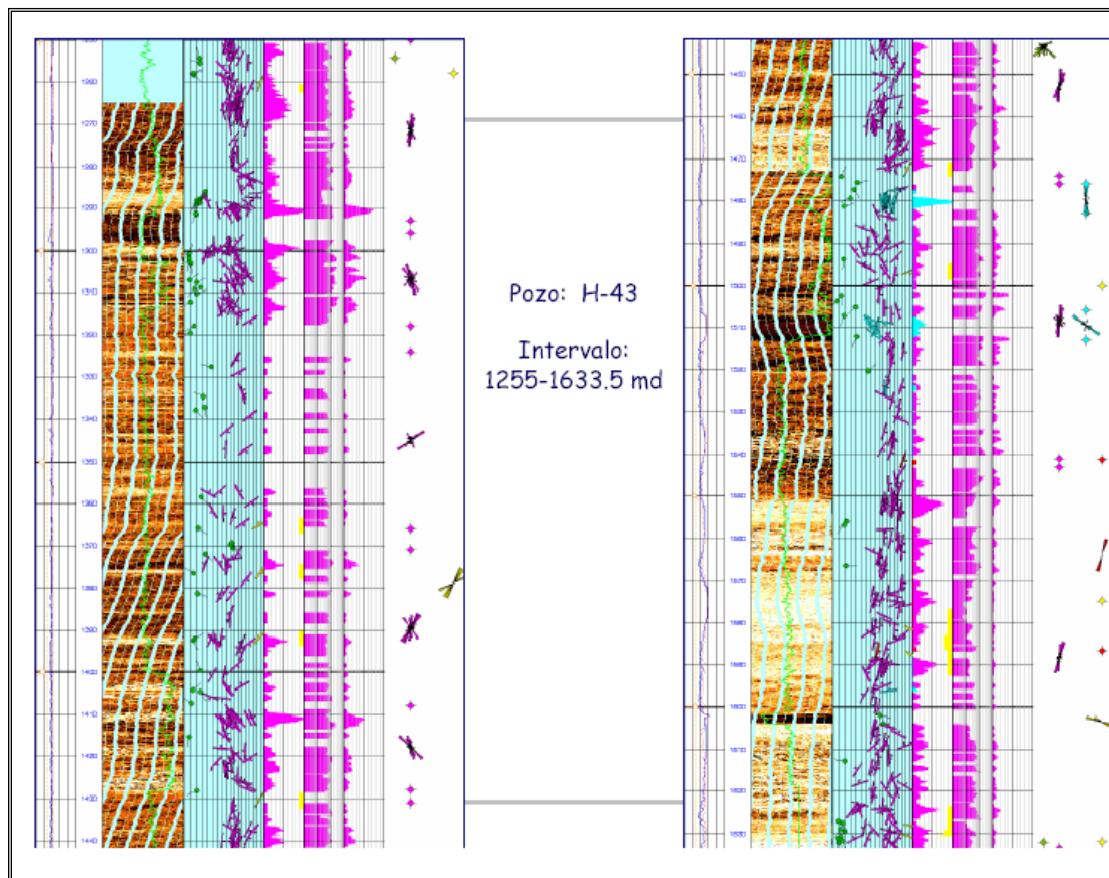
Rumbo de las Fallas identificadas  
en el intervalo registrado

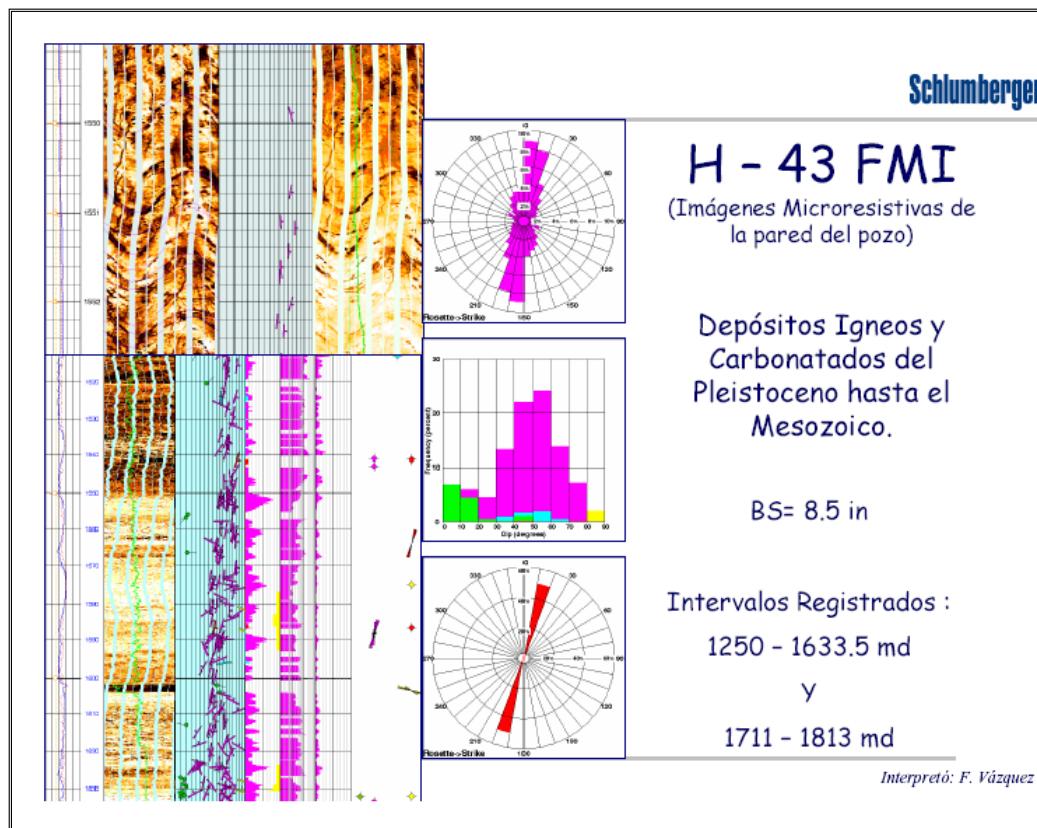


Fallas  
(N = 2)

Roseta de rumbo

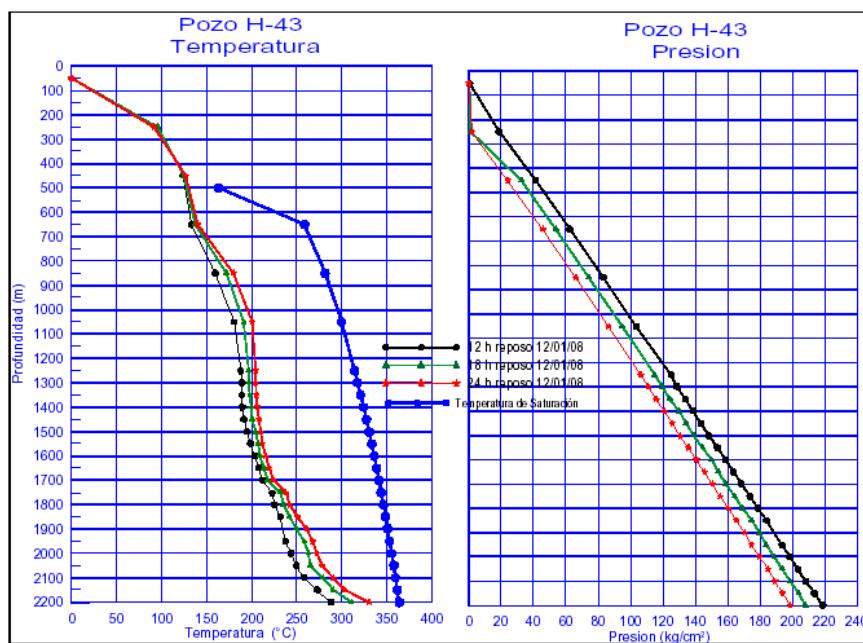






### 5.2.2. Registros CFE

Solo se mencionan algunos.



Registros presión-temperatura 2200m.

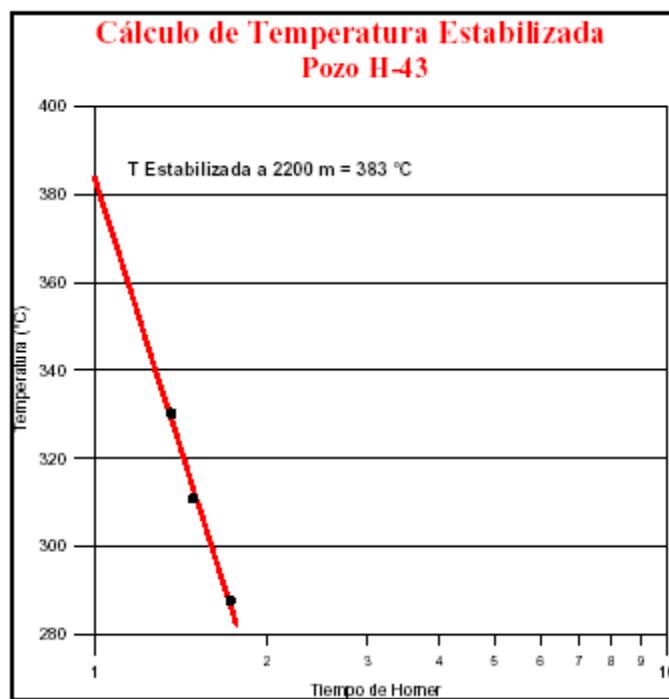
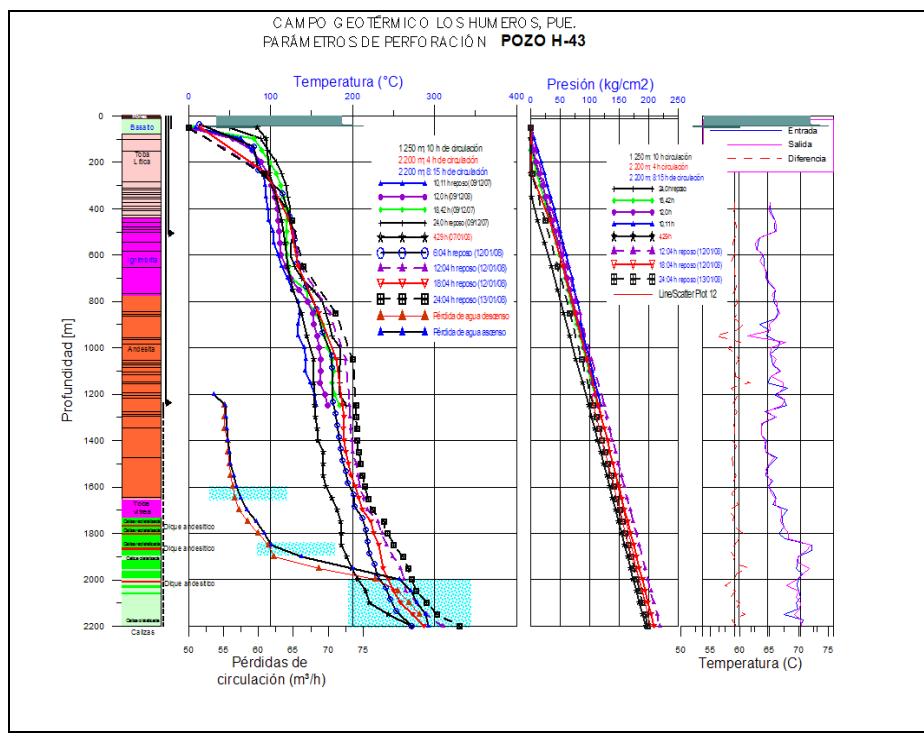


Grafico calculo temperatura estabilizada 2200m.



Datos inyección

## 6. Resultados de acuerdo a los objetivos

El sustento técnico y de la localización del pozo son responsabilidad del Departamento de Exploraciones: Oficina de Disciplina Geológica y Geofísica. Ambas disciplinas trabajaron en conjunto y para la ubicación del H-43, resultaron dos propuestas.

La primera fue presentada a la Subgerencia de Estudios a consideración, donde se pretendía reutilizar la plataforma del H-16, con un pozo direccional al oeste. Sin embargo, se descarto, con el argumento de la “*zona acida*” buscando una nueva alternativa. Lo que dio como nueva localidad la ubicación del H-43, con la propuesta de un pozo vertical.

En la nueva propuesta se sustento con el análisis de la información existente y recopilada. En ella, se hizo el mejor esfuerzo para ubicar, definir y ubicar objetivos a profundidad con las mejores posibilidades de encontrar zonas de fracturamiento-fallamiento. Sin embargo el fantasma de la zona acida estaba presente.

## 6.1. Geología estructural

Ante la incógnita de conocer la geometría del sistema fracturado a profundidad, relacionado con el Sistema Estructural N-S: Malpaís, Antigua y La Cuesta con buzamiento al oriente.

La zona de interés geotérmico propuesta por geología estructural, quedo sustentada para interceptar el Sistema Estructural de fracturamiento-fallamiento N-S de la falla Malpaís y La Antigua con buzamiento al Este, a partir de los 1300m. Y llegar a la cima de las calizas en el orden de los 1800m de profundidad.

La aparición estable en forma horizontal de la cima de las calizas entre los pozos H-9 (1720m), H-37D (1750m), H-43 (1740m) localizados en el bloque alto (foot wall) y H-16 (2020m) localizado en el bloque bajo (hanging wall).

Tomando en cuenta que la aparición de las calizas en el H-43, tuvo lugar a los 1740m vs 1800m, contemplados, existe un error de 60m arriba de los esperado, lo cual indica un error del 3.44% en el calculo de la aparición de las calizas.

**a). Sistema Malpaís.** La utilización y alcance de la herramienta FMI hasta la profundidad total del pozo 2200m, no permite concluir que este sistema se haya alcanzado.

**b). Sistema Falla Antigua:**

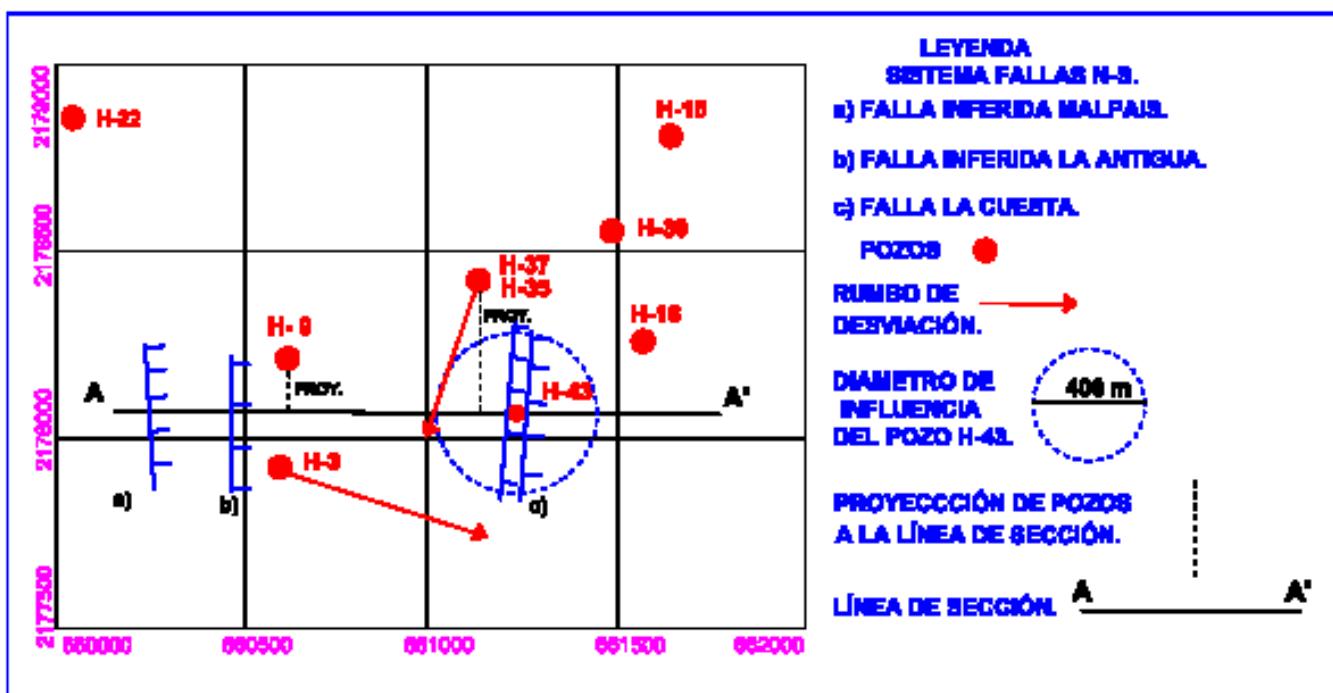
Este sistema solo se pudo observar y comprobar su existencia como un sistema fracturado de orientación N-S, determinando que el sistema sintético predomina con buzamiento al oriente, y el sistema antítetico al poniente.

De existir desplazamiento de componente vertical, estos no llegarían a sobrepasar los 20m, lo anterior aplica para la cota de profundidad de la cima en las calizas (1720-1750m) entre los pozos H-9, H-37D, H-43 (orientados W-E). Sin embargo, este sistema puede jugar una dinámica de desplazamiento horizontal para esas profundidades de 1720-1750m. De ser este el caso, implicaría una reactivación del sistema N-S.

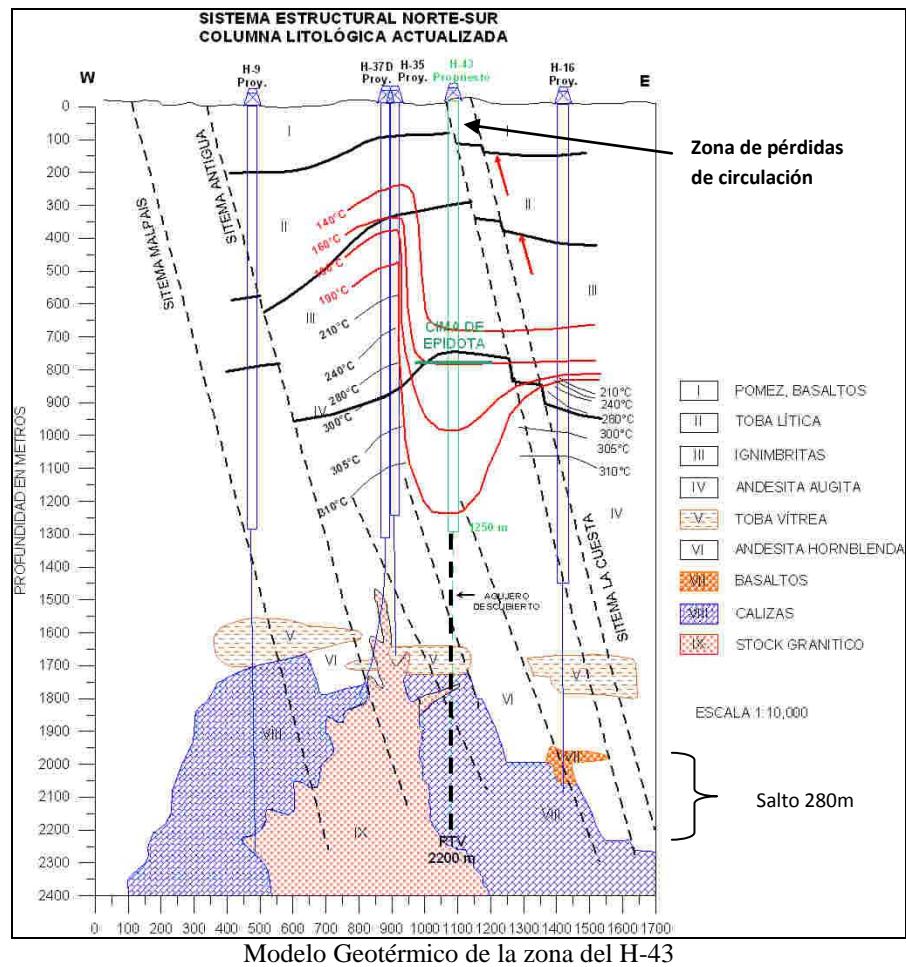
Para responder el salto de 280 m entre las cimas de la calizas entre los pozos H-43 y H-16, se debe caracterizar la penetratividad de este sistema estructural, y esta responde a una estructura profunda transicional que juega el papel de falla con movimiento vertical a niveles profundos que afectan al basamento calcáreo y la base del volcánico, y en niveles someros se comporta como sistema de fracturamiento activo.

La interpretación Schlumberger, concluye la presencia de este sistema como fracturas naturales conductivas de orientación N-S y NNE-SSW, presentes a lo largo del todo intervalo registrado (1250-1811m). Asociadas con la presencia de fallas de orientación NNE-SSW, en la parte inferior del pozo.

**c). Falla La Cuesta:** La presencia de esta quedó manifestada por la perdida de fluidos de circulación en los niveles someros (30-60m). Considerando la ubicación alineada W-E, y una distancia de 340m entre los pozos H-43 (Bloque alto) vs H-16 (Bloque bajo), y de acuerdo a la aparición de la cima de las calizas en el bloque alto a los 1740m, y en el bloque bajo a los 2020m, lo cual representa un salto vertical de 280m. Por lo que el desnivel en la cima de las calizas “**no responde a la presencia de esta estructura**”. La ubicación de esta estructura por su cercanía al pozo H-43, los registros Schulmberger, no lo cubrieron.



Sistema Estructural



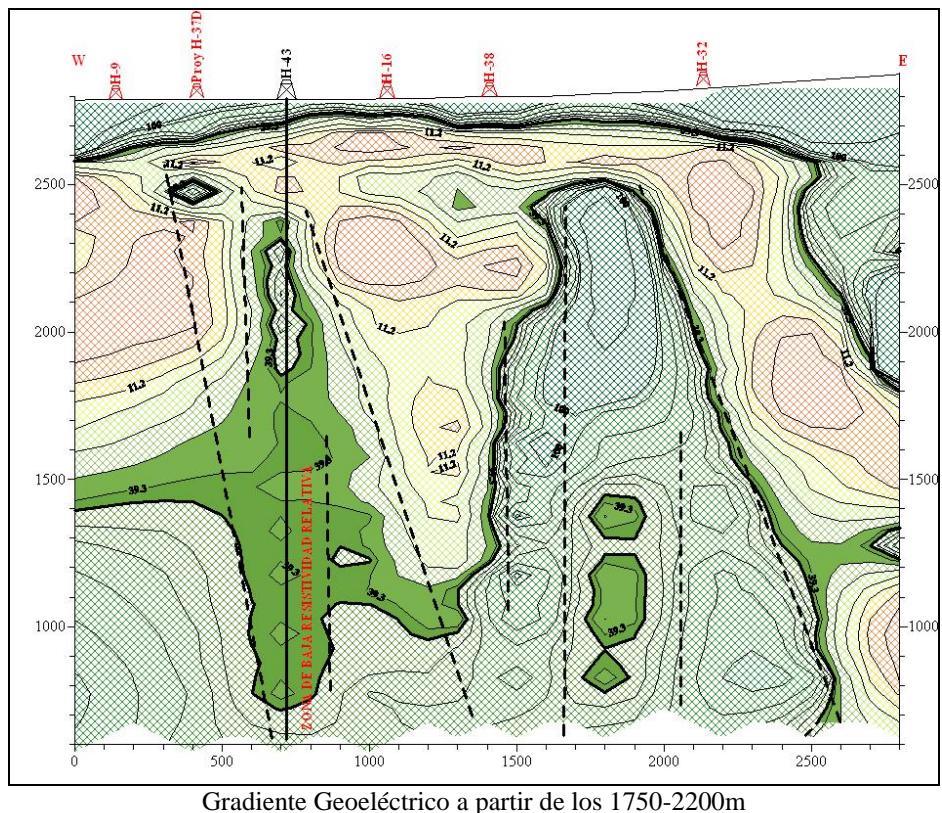
## 8.2. Geofísica

### 6.2.1. Resistividad

Mediante el análisis e interpretación de la información geofísica se determinó lo siguiente:

Eléctricamente con la información de los sondeos electromagnéticos se presentó una anomalía resistiva de 40 ohm-metro desde los 500-2000m en forma elongada verticalmente con gradientes tanto verticales como horizontales en los flancos de esta. Por su comportamiento se le asocia con las zonas de alteración hidrotermal, producto de los fluidos de alta temperatura en el pozo.

Mediante los SEVs, resultan dos anomalías importantes una de 60 y 30 ohms-metro, la primera define el horizonte de las andesitas con la zona productora de vapor junto con las zonas de alteración hidrotermal, y la segunda se presenta en la secuencia sedimentaria, considerándose que deben existir zonas de aporte de fluidos de alta temperatura en rocas sedimentarias.



### **6.2.2. Sísmica pasiva**

El análisis y resultados permiten establecer que la ubicación del H-43, se localiza en una zona epicentral de 35 microsismos con magnitud Md 0.9 y 1.8, a profundidades de 1-4 Km. Estos se concentran a partir de los 2-4 kms. Esta actividad sísmica se asocia al Sistema de falla N-S, denominado La Antigua y La Cuesta, en la zona de pozos H-35 y H-37D, por lo tanto el sistema se considera activo.

Para la profundidad del H-43, en su zona de interés de 1300-2200 ocurren el 57% de los microsismos. Existe una alineación epicentral E-W de microsismos con epicentros de 2.2-2.3 Km, que de haber conocido el Informe de la Actividad Sísmica previo a la propuesta actual del H-43, la profundidad más adecuada hubiera alcanzado los 2300m, donde se concentrarían y alcanzarían el 74% de la microsismicidad, por ende las posibilidades de encontrar más fracturamiento.

Sin embargo, cabe hacer mención que el FMI, visualiza otros Sistema Este-Oeste a profundidad, del que se hablaba sin tener la sustentación técnica y posiblemente sea el que este relacionado con la microsismicidad.

## Conclusiones

- En el subsuelo de la zona norte del campo existe una anomalía termal que sobrepasa los 330° C a los 2200 m de profundidad.

- La perforación del H-43 se realizó sin contratiempos en 89 días.
- La zona de interés de 1300-2200 m de profundidad quedó en agujero descubierto por cuestiones de acidez.
- No se había previsto encontrar temperaturas estabilizadas tan elevadas en este pozo.
- En el subsuelo del H-43 tienen lugar procesos metasomáticos e hidrotermales activos que afectan a la unidad calcárea.
- Los objetivos geológico-estructurales se cumplieron satisfactoriamente.
- Los objetivos geofísicos de gravimetría y eléctricos están dentro de la tolerancia de error, o sea son satisfactorios.
- La interpretación del registro FMI en el pozo comprobó que el sistema estructural predominante en la zona norte del campo es el de orientación N-S, presentándose otros a profundidad, como el E-W.
- Hay una zona con fallamiento a niveles profundos, en la base del paquete volcánico y en las calizas.
- La falla que desplaza a las calizas entre el pozo H-43 y H-16 es el sistema sstructural de La Antigua y actúa también sobre el paquete volcánico que le sobreyaace.
- La deformación extensional en el subsuelo del pozo H-43 afecta a las unidades litológicas calcáreas del Mesozoico y a las volcánicas del Terciario-Cuaternario.
- Por la magnitud de la sismicidad, los eventos son de tipo de microsismos.
- La actividad sísmica en el subsuelo del campo genera fracturamiento, lo cual incrementa la permeabilidad.
- La permeabilidad en el subsuelo está controlada por sistemas estructurales.
- Al pozo se le hizo una prueba de inyección que hizo que se abrieran zonas permeables. La zona permeable, de acuerdo con el registro después del fracturamiento térmico, se encuentra entre 1450 y 1900 m, lo cual coincide con la prueba de pérdida de agua.
- Se considera que la zona productora en el H-43 tendrá lugar en dos unidades litológicas: andesitas y calizas.
- La temperatura máxima alcanzada por los registros de temperatura es de 350° C. La temperatura estabilizada calculada a los 1250 m es de 228° C y de 383° C a los 2200 m. Esto indica que el fluido se encuentra en la región supercrítica y que puede haber fenómenos de corrosión en el pozo.

- A cinco días de su apertura del pozo se evaluó con un  $Q_v = 60 \text{ t/h}$ ,  $Q_a = 0.4 \text{ t/h}$  y  $P_c = 50 \text{ bars}$ .

## Referencias

Arredondo Fragoso Jesús 1984. Interpretación gravimétrica del campo geotérmico Los Humeros Pue. Reporte GF-4-84.

García Estrada Gerardo 1983. Estudio termométrico a 3.5 m de profundidad en la zona geotérmica de Los Humeros Pue. Informe 23-83

Lorenzo Pulido Cecilia 2007. Actividad Sísmica en el CG. Los Humeros Pue. Informe GF-HU-06-07.

Lorenzo Pulido Cecilia. 2007. Sísmica Pasiva en la zona del H-43. Sin publicar.

Martínez López Marta 2003. Informe Análisis de la declinación de la producción de los pozos. Residencia Los Humeros. 0-2159-019-R-03

Ramírez Montes, M. (2008) Comunicación Personal.

Rocha López Víctor, Jimenez Salgado Esteban y arredondo Fragoso Jesus, 2006. Propuesta para pozos de respaldo en el CG. Los Humeros Puebla. H-41-H-42 y H-43. Informe OGL-HM-01/06.

Rocha López Víctor y Ramirez Silva German 2008. Informe de los Resultados de la perforación del pozo H-43, en el C.G Los Humeros Pue. GG-HM-01-08

Sánchez Luviano M, y Torres-Rodríguez M.A., 2008. Análisis y Diagnóstico de las pruebas durante la perforación del pozo H-43, del campo geotérmico Los Humeros Pue. DINYAC-007-2008. Análisis de Requerimientos de vapor- RC-SDE-005.

Schlumberger, 2008. Evaluación del pozo H-43. Los Humeros Puebla.

Viggiano Guerra J. Cesar y M.C Magaly Flores Armenta 2008. Estudio Petrográfico del H-43, Los Humeros Puebla. Interpretación e indicadores de acidez. DEX-DGL-HM-01-08.