

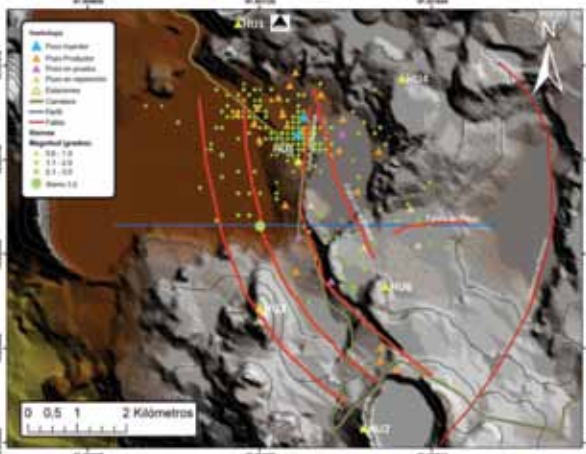


RELACIÓN ENTRE ACTIVIDAD SÍSMICA LOCAL, POZOS INYECTORES Y FALLAS ACTIVAS EN LOS CAMPOS GEOTÉRMICOS DE MÉXICO

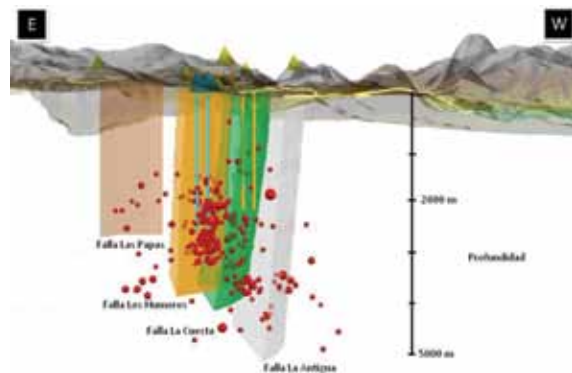
El monitoreo y el continuo estudio de la sismicidad en los campos geotérmicos de México (Los Humeros, Puebla; Los Azufres, Michoacán; Tres Vírgenes, Baja California Sur; y Cerro Prieto, Baja California) han generado diversos planteamientos y conclusiones que conducen a relacionar la actividad sísmica con las operaciones de explotación y el sistema hidrotermal:

1. El monitoreo sísmico confirma cambios en los esfuerzos y la presencia de actividad en zonas donde no se había observado sismicidad. Esta ocurrió hasta el momento de la explotación del campo, y razonablemente confirma que los eventos han sido inducidos por medio de las numerosas operaciones. La zona de explotación agrupa el mayor porcentaje de sismicidad local en tres de los cuatro campos geotérmicos principales de México, con excepción del campo Tres Vírgenes, donde la mayoría de la actividad sísmica está asociada con la actividad tectónica.

2. Considerando que la producción, la perforación y la inyección en los pozos son las operaciones de explotación vitales, la inyección se ha manifestado como la principal actividad generadora de sismicidad. En Los Humeros, Los Azufres y Cerro Prieto la mayoría de los sismos se agrupa principalmente en las cercanías de los pozos inyectores; se ha observado su ocurrencia en periodos cortos (horas, minutos y segundos), hasta tiempos largos (años), en los cuales probablemente se asocien mecanismos generadores adicionales. Las fallas cercanas a los pozos, tanto productores como inyectores, manifiestan cambios de esfuerzos, activación o reactivación, lo que permitió construir la proyección con su posible forma, echado y orientación.

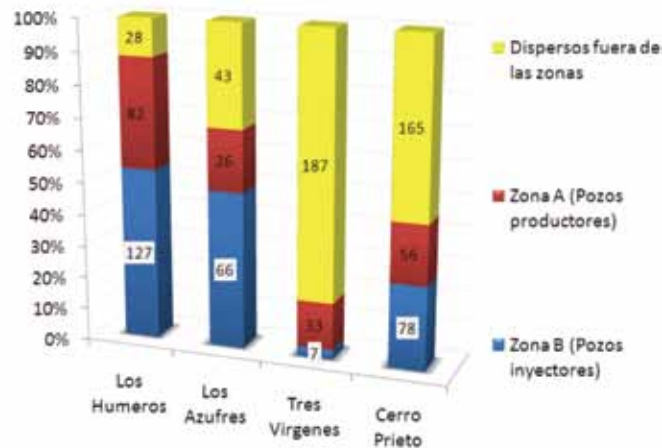


Mapa geomorfológico del campo geotérmico Los Humeros, Puebla, con la distribución espacial de la sismicidad durante 1997-2008 (esferas verdes), los pozos inyectores (triángulos azules), los productores (triángulos naranjas) y la proyección de las fallas (líneas cafés).



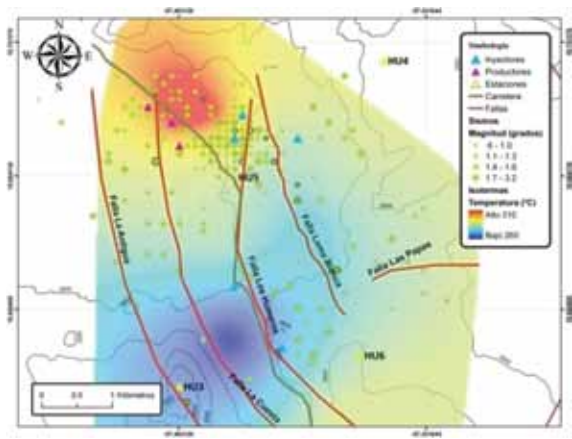
Perfil sísmico E-O del campo Los Humeros. Se presentan la sismicidad en una escala de incremento gradual de magnitud (esferas rojas), los pozos inyectores (líneas azules) y los productores (líneas naranjas), y proyección de las fallas Los Humeros (polígono naranja), La Cuesta (polígono verde), La Antigua (polígono gris) y Las Papas (polígono rojo).

Distribución de sismos en los campos geotérmicos de México



Distribución de los sismos en los campos geotérmicos de México

3. Existen mecanismos termoporoelásticos que intervienen en el fracturamiento de los poros, y zonas de alta presión y temperatura que han influido en un fracturamiento adicional no considerado (Ghassemi, 2007). Un indicador de este fenómeno es la numerosa microsismicidad concentrada en la zona de mayor temperatura en el campo geotérmico Los Humeros, y cuya zona norte es la que reúne los mecanismos necesarios para su manifestación, alta temperatura y presión, parámetros que sugieren la presencia del fenómeno de termoporoelasticidad.



Mapa de isotermas con temperaturas de fondo, la actividad sísmica y las fallas principales en el campo Los Humeros

4. Durante el periodo 2009-2010 del monitoreo sísmico en el campo Tres Vírgenes, se logró asociar la sismicidad con los siguientes trabajos de perforación y pruebas de producción en el pozo LV-06:

- Fin de la estimulación y proceso de limpieza para acidificación el 24/12/2009; 7 sismos.
- Ingreso de ácido al pozo el 27/12/2009; incremento del número de sismos a 7.
- Inicio de la inducción o calentamiento del pozo el 06/01/2010; 7 sismos asociados.
- Prueba de producción a 3½" el 9/03/2010; 58 sismos.
- Prueba de producción, cambio de diámetro en la placa de orificio de 3½" a 4" el 23/04/2010; 10 sismos.

5. Es importante señalar que la actividad sísmica, dentro de los periodos considerados en el estudio y referente a los campos geotérmicos, no rebasa los 3.5 grados de magnitud, a pesar de

que se encuentran en zonas tectónicamente activas, y no se produce ningún evento de gran magnitud asociado con la explotación que pudiera considerarse de riesgo para la población o la infraestructura.

6. Es importante continuar con el monitoreo sísmico para diferenciar los efectos de la termoporoelasticidad y de fracturamiento hidráulico, debido al tiempo de ocurrencia necesaria para generar los diversos efectos. Normalmente, el efecto de termoporoelasticidad no es considerado en los términos de la permeabilidad y del fracturamiento.

7. La actividad sísmica en torno a los yacimientos es numerosa, y el monitoreo resulta una herramienta importante para aportar valiosa información en la toma de decisiones; es recomendable utilizar dicha información desde la etapa de exploración, durante la explotación e incluso en etapas maduras de los yacimientos.

Lo anterior es una breve descripción de los trabajos de tesis de licenciatura de los alumnos Edgar Urban Rascón (ingeniero petrolero) y Luis Ángel Espinosa Villalpando (ingeniero civil) que se desarrollaron en el Instituto de Ingeniería, dirigidos por el M. en C. Javier Francisco Lermo Samaniego. 🏠