
CAPITULO 1

1.1 Introducción

El Campo Geotérmico de Los Humeros se ubica en el extremo oriente del Cinturón Volcánico Transmexicano en el límite de Puebla y Veracruz. El monitoreo sísmico en Los Humeros comenzó en el año de 1977 con Ponce y Rodríguez, sin embargo en 1994 se comenzó con un monitoreo sísmico más intenso debido a que se registró un sismo de magnitud 4.6 localizado dentro del campo geotérmico Los Humeros (Lermo et al., 1999) causando daños a las instalaciones de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Por tal razón, CFE en 1997 instaló una Red Sísmica Telemétrica Permanente (RSTP) que consta de seis sismógrafos digitales triaxiales (S01, S02, S03, S04, S05, S06) distribuidos dentro y alrededor del campo geotérmico. Con la colaboración de instituciones como el Instituto de Ingeniería de la UNAM se han realizados estudios de la sismicidad pasiva del campo.

En el presente trabajo se realiza un análisis de la anisotropía sísmica en el del campo geotérmico Los Humeros, Puebla, con registros sísmicos de 1997 a 2008. En este trabajo se analizan alrededor de 79 sismos localizados en cinco o más estaciones que provienen de la zona centro del campo Los Humeros, y mediante una estadística de datos se obtiene los parámetros de anisotropía: dirección preferencial de la polarización (θ) y retraso (δt) de las ondas de corte $qS1$ y $qS2$ de cada estación, finalmente se correlacionan los parámetros de anisotropía con la tectónico del campo.

1.2 Antecedentes

La sismicidad pasiva está encargada de detectar los eventos sísmicos del subsuelo que se generan por movimientos tectónicos, eventos volcánicos o, en este caso, sismicidad local inducida por esfuerzos al inyectar fluido geotérmico (Rutledge, 2003, Garcia, 2006). Este método ha sido utilizado para conocer de una mejor manera la geología estructural interna del subsuelo en la exploración de recursos naturales como agua, gas y petróleo.

En México se han llevado a cabo estudios de anisotropía para la detección de fracturamiento, como el realizado por Gonzales, 1999 en Mexicali en el campo geotérmico Cerro Prieto; él obtuvo los parámetros de anisotropía (polaridad y retraso de ondas S) de los eventos sísmicos para correlacionar el fracturamiento con las polarizaciones obtenidas en más de nueve estaciones alrededor del campo.

Vázquez (1994), en la Brecha de Guerrero utilizó diversas técnicas para determinar que la mayor causa de anisotropía sísmica es la presencia de microfracturas alineadas por esfuerzos de origen tectónico.

En general, un medio anisótropo es aquel que muestra variaciones en la magnitud de las propiedades en una determinada dirección preferencial, la alineación de minerales en las rocas, las fallas o fracturas alineadas son ejemplos de medio anisótropos. En el medio isótropo la magnitud de las propiedades físicas permanecen constantes en cualquier dirección, pero el comportamiento de estos materiales se aleja del modelo real. Sin embargo, el modelo anisótropo tiene más cercanía al modelo real al considerar que las variaciones existen en direcciones preferenciales.

Los parámetros de anisotropía se pueden estimar de los eventos sísmicos que se registra de la microsismicidad originados por la inyección de fluido en las rocas en el campo geotérmico Los Humeros mediante la polarización (θ) de la onda rápida $qS1$ y retraso (δt) de las ondas de corte $qS1$ y $qS2$, estos parámetros han mostrado ser de gran utilidad para detectar zonas de fracturamiento y dirección de esfuerzos locales en Campos Geotérmicos y Petroleros (García, 2006, Tang, 2006).

1.3 Planteamiento del problema

En este trabajo se propone el análisis de anisotropía sísmica como método para indagar direcciones de fracturamiento. En la inyección de agua y producción de vapor en el campo geotérmico Los Humeros, los fluidos fracturan las formaciones debido a cambios de presión y temperatura generando microsismicidad que puede ser detectada en superficie mediante una red sísmica. De los eventos sísmicos detectados se pueden obtener los parámetros de anisotropía para estimar zonas con direcciones preferenciales de fallas o fracturas alineadas.

1.4 Hipótesis

Existe una relación entre la anisotropía y las fracturas alineadas, de acuerdo con Crampin, (1985a) cuando un cuerpo está sometido a esfuerzos máximos en una determinada dirección se genera fracturamiento paralelos a dichos esfuerzos. El campo Los Humeros experimenta sistemas de esfuerzos que alinean fallas y fracturas; se puede conocer el fracturamiento mediante análisis de anisotropías sísmica debido a que las fallas y fracturas se comportan como medios anisótropos.

1.5 Alcances

El análisis de anisotropía sísmica es una herramienta complementaria en la exploración y búsqueda de fracturamiento, sin embargo este método necesita ser complementado con información geológica, geofísica y geoquímica para una mejor certitud en la información.

En el campo geotérmico Los Humeros, se dan las condiciones que permiten realizar un análisis de anisotropía sísmica debido a que existe una sismicidad generada por inyección y producción de fluidos, se cuenta con un red sísmica que registra dichos los eventos y finalmente se tiene una amplia información científica en el campo Los Humeros.

1.6 Metodología

En cada una de las estaciones que monitorean la sismicidad del campo Los Humeros se analizan los parámetros de anisotropía sísmica. En general la metodología que se seguirá en este trabajo para el análisis de los datos es la siguiente:

- 1) Selección de datos de 1997-2008: se seleccionaron sólo aquellos datos que tengan magnitud M_d menor a 3.5, localizados en al menos cinco estaciones, con errores de localización menores a 1 km en profundidad y 2 km en superficie y valores de rms menores a 1. Este criterio se tomó para tener una mejor calidad de datos.
- 2) Localización de los eventos sísmicos en superficie y profundidad. El software utilizado fue la subrutina del HYPO71 del programa SEISAN versión 8.0 (Havskov y Ottemoller, 2003).
- 3) Para el análisis de anisotropía sísmica, de cada estación se obtuvieron los parámetros de polarización de la onda $qS1$ (θ) y retraso de ondas de corte (δt , es decir $qS2-qS1$) de los 79 eventos mejor localizados con las características antes descritas. Ver Capítulo 3.
- 4) Se realiza un conteo estadístico de los valores de polarización para determinar la dirección preferencial de cada estación, de igual manera, se determina el retraso de tiempo promedio entre las ondas S de las estaciones.
- 5) Para visualizar de una mejor manera los resultados se grafican las direcciones de polarización acimutal de cada estación en rosetas circulares y los retrasos de tiempo ($qS2-qS1$) con gráficas de dispersión.
- 6) Se correlacionan las direcciones de polarización promedio de las estaciones con esfuerzos tectónicos o locales obtenidos de mecanismos focales para mostrar su posible coincidencia.
- 7) Finalmente, se proponen zonas que pudieran tener una dirección preferencial de fracturamiento de acuerdo con las direcciones de polarización de las rosetas de las estaciones.

1.7 Objetivos

- Realizar un análisis de la anisotropía sísmica en el del campo Geotérmico Los Humeros, Puebla, con registros sísmicos de 1997 a 2008 con el fin de detectar fracturas alineadas.
- Correlacionar la dirección espacial de la anisotropía sísmica del campo con esfuerzos principales locales obtenidos con mecanismos focales, con las fallas y fracturas alineadas en del campo Los Humeros.
- Proponer zonas que tengan la misma dirección de fracturamiento dentro del campo geotérmico Los Humeros.

1.8 Organización del trabajo

- CAPITULO 1.- En este capítulo se describe un panorama general del trabajo, el propósito, la importancia de la anisotropía sísmica y su relación a campos geotérmicos.
- CAPITULO 2.- Se mencionan los antecedentes geológicos, tectónicos y de sismicidad del campo Los Humeros, así como la distribución de los pozos productores, estaciones, y eventos sísmicos.
- CAPITULO3.- Se muestra el marco teórico de los fundamentos de la anisotropía sísmica, la metodología para obtener la anisotropía a partir de sus parámetros.
- CAPITULO 4.- Se muestran los resultados de aplicar la metodología descrita sobre los datos sísmicos, se describen los resultados y la interpretación de y fallas y esfuerzos regionales.
- CAPITULO 5.- Conclusiones.