

SE15-1

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE ORIGEN GEOTÉRMICO EN MÉXICO

Abril Gaspar Alejandro
Comisión Federal de Electricidad
alejandro.abril@cfe.gob.mx

Aunque la generación de energía eléctrica de origen geotérmico empezó en México desde noviembre de 1959, cuando entró en operación una planta de 3.5 MWe en el campo geotérmico de Pathé, Hidalgo, la geotermoelectricidad comercial moderna y sostenida se inicia catorce años después, cuando en abril de 1973 entra en operación la primera unidad de 37.5 MWe del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC. En la actualidad, más de 31 años después, México tiene una capacidad geotermoelectrica neta de 953 MWe integrados a la red de distribución, constituida por 36 unidades generadoras a condensación, a contrapresión y de ciclo binario, cuyas capacidades individuales van de los 1.5 a los 110 MWe. Hay otra pequeña unidad aislada de 300 kWe operando en Chihuahua. Todas esas unidades fueron diseñadas y construidas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). La CFE opera actualmente cuatro campos geotérmicos, dos ubicados en la provincia de la Faja Volcánica Mexicana (Los Azufres y Los Humeros), otro ubicado en una cuenca transtensional del sistema de fallas de San Andrés (Cerro Prieto) y otro más asociado a la tectónica activa del Golfo de California (Las Tres Vírgenes). En ellos funcionan continuamente 205 pozos productores, con profundidades de 500 a más de 3 mil metros, que en lo que va del año 2004 han producido casi 7,700 toneladas por hora (t/h) de vapor geotérmico, acompañadas de 6,600 t/h de salmuera. Durante el año pasado, los campos geotérmicos generaron 6,282 gigawatts-hora (GWh), lo que representó el 3.1% de la electricidad generada total en México. Si bien éste es un porcentaje ciertamente pequeño a nivel nacional, la electricidad generada en el campo de Cerro Prieto representó más de la mitad de la energía eléctrica consumida en el sistema de distribución Baja California de la CFE. Actualmente, la CFE tiene planes para instalar 50 MWe adicionales en el campo de Los Humeros, Pue., y 75 MWe en el prometedor campo de Cerritos Colorados, ubicado en los alrededores de Guadalajara, Jal.

SE15-2

APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AL CAMPO GEOTÉRMICO DE LOS HUMEROS, ESTADO DE PUEBLA, MÉXICO

Lara Cuervo José Guillermo¹, Yáñez García Camilo², Hernández Zúñiga Roberto² y Prol Ledesma Rosa Maria³

¹ ESIA, Instituto Politécnico Nacional

² Comisión Federal de Electricidad

³ Instituto de Geofísica, UNAM
alter_aenima@yahoo.com.mx

La geotermia es una rama de las Ciencias de la Tierra que ha cobrado especial importancia en los últimos años debido a que se ha constituido como una fuente alternativa y eficiente en la generación de energía eléctrica. México es el tercer país a nivel mundial en producción de energía eléctrica por este conducto, contando en la actualidad con 5 campos los cuales son, en orden de importancia 1) Cerro Prieto, B. C.; 2) Los Azufres, Mich.; y 3) Los Humeros, Pue. 4) Tres Vírgenes BCN y el quinto denominado Maguarichi en la Sierra Tarahumara en Chihuahua. Es en Los humeros donde las condiciones y evolución geológicas son de particular interés debido a que

constituyen un sistema con características tectónicas y estructurales singulares que han servido de material para sinnúmero de estudios. La aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), por tanto, toma aquí una especial relevancia por la complejidad de la zona en sí y debido a la característica de los SIG de desarrollar modelos que permitan establecer correlaciones entre diferentes parámetros de la zona de estudio que validen predicciones respecto a su productividad. Esta utilización de los SIG en Exploración Geotérmica abre una nueva perspectiva de trabajo a desarrollarse más ampliamente en años venideros. La eficacia de los SIG en la Geotermia se puede demostrar a través del uso de mapas temáticos de resistividad a profundidad, fallas y fracturas, temperaturas de pozos, mapas magnetométricos; así como de información geológica generada por el procesado digital de imágenes de satélite y de métodos matemáticos como álgebra Booleana, los índices calculados por el método de pesos de evidencia y la lógica fuzzy. En este trabajo se desarrolla esta aplicación particularmente en el campo de Los Humeros; teniendo también como objetivo el conocer la aportación de nueva información generada por los resultados de modelado con SIG en la evaluación del campo.

SE15-3

LA ENERGIA GEOTERMICA DESDE EL INICIO DE LA HUMANIDAD HASTA EL SIGLO XX

Suarez Arriaga Mario Cesar
Facultad de Ciencias Fisico Matematicas, UMSNH
msuarez@zeus.umich.mx

Durante millones de años muchas áreas en nuestro planeta fueron ricas en manifestaciones geotérmicas activas: volcanes, terremotos, aguas termales, fumarolas, exhalaciones de gas, lagos de barro, depósitos de minerales hidrotermales. La presencia durante milenios de comunidades humanas en zonas geográficas con manifestaciones geotérmicas se detectó por descubrimientos arqueológicos. Tales vestigios permiten para inferir que el humano estableció una relación de convivencia con los volcanes y con otros fenómenos de la energía de la Tierra. Desde su pasado más oscuro, los hombres prehistóricos usaron piedra volcánica, obsidiana, pedernal y basalto para fabricar armas y herramientas. Usaron lava para hacer sus casas con piedra dura. Supieron del cocimiento de alimentos en fumarolas y rocas calientes, del uso de aguas termales y barros en la higiene del cuerpo, para curar heridas y templar flechas y lanzas usadas en la caza y en la guerra. Con el inicio de asentamientos humanos consagrados al cultivo de la tierra alrededor de zonas volcánicas, surgieron las primeras experiencias sistemáticas de la utilización del calor terrestre. Lavar y bañarse en sistemas naturales de aguas termominerales, irrigación de jardines, aplicaciones terapéuticas, recreación y relajación, ocurrieron en culturas antiguas diferentes. El Baño en aguas termales fue una parte esencial de la vida en muchas civilizaciones avanzadas del pasado. Los manantiales de agua caliente conteniendo minerales se usaron no sólo para curar enfermedades físicas reumáticas, ciáticas o ginecólogas, sino también para tratar problemas psiquiátricos. El vapor ruso proviene de Grecia mientras que el Temascal es típico de Mesoamérica. El sauna finlandés y los baños termales japoneses de agua mineral, vienen de raíces históricas diferentes. Los baños árabes todavía existen en la ciudad vieja de Granada en España. El baño turco de vapor seco e innumerables Spas son muy populares en el mundo actual. La energía geotérmica jugó un papel importante en la ocupación humana del territorio. Algunos investigadores demostraron que el desarrollo social, agrícola y artístico de la población original en sitios volcánicos fue influenciado por las erupciones volcánicas. Las interpretaciones religiosas míticas de fenómenos geotérmicos ocurrieron temprano,

reflejando un respeto profundo hacia el calor de la Madre Tierra. En las culturas mesoamericanas, dios del fuego fue considerado padre de todos los otros dioses y su representación como un hombre viejo hace pensar en la vejez de montañas y volcanes. La relación de hombre con la energía geotermal tuvo una interpretación ética dual: benéfica/maléfica, constructiva/destructiva. Esta comprensión influyó profundamente la visión cósmica de esos pueblos. Muchas culturas antiguas se desarrollaron cerca de aparatos volcánicos recientes. Ahora sus descendientes usan los manantiales de agua termomineral, calientan o enfrían el espacio habitable y establecen programas agrícolas con geotermia, mientras otros comercializan sus derivados o construyen proyectos de generación eléctrica. Esta perspectiva da énfasis a la antigüedad prehistórica de los procesos cognoscitivos del fenómeno geotérmico.

SE15-4

ESTADO TERMICO INICIAL DEL CAMPO GEOTÉRMICO LOS AZUFRES, MICHOACAN

García Gutierrez Alfonso¹, Arellano Gomez Víctor Manuel¹,
Altamirano Flores Jazmin Lizbeth² y Torres Rodriguez Marco
Antonio³

¹ Gerencia de Geotermia, Instituto de Investigaciones Eléctricas

² Depto. de Ingeniería Mecánica, Instituto Tecnológico de Puebla

³ Residencia del Campo Geotérmico Los Azufres, CFE
aggarcia@iie.org.mx

Se determinó el estado térmico imperturbado del campo geotérmico Los Azufres Michoacán. Para ello, se utilizaron los registros de temperaturas de 62 pozos del campo y, a partir de ellos, se obtuvieron las temperaturas estabilizadas como función de la profundidad de cada pozo mediante los métodos de Horner y la Esfera. Posteriormente, se elaboraron gráficas que muestran los registros de temperatura, las temperaturas estabilizadas, la litología, la terminación, las pérdidas de circulación y varias gráficas de la velocidad de calentamiento entre registros de temperatura consecutivos de cada pozo. Estas gráficas permitieron correlacionar la zona principal de aporte de fluidos de cada pozo con la temperatura de yacimiento en esa zona.

Enseguida se graficaron las temperaturas de yacimiento como función de la elevación. Este modelo revela la existencia de líquido comprimido profundo (a unos 308°C) que asciende hasta que, aproximadamente a 1300 m.s.n.m., comienza a ebullición. Esta región de fluido bifásico se extiende hasta aproximadamente 1700 m.s.n.m. (con una temperatura de 280°C) en donde el vapor saturado es la fase que controla el comportamiento del sistema. La temperatura de la región predominada por vapor varía relativamente poco con la elevación (aproximadamente 272°C a 2500 m.s.n.m.)

Finalmente se elaboraron secciones transversales del yacimiento que muestran curvas isotermales de la distribución de temperaturas del campo geotérmico, localizándose las zonas de flujo convectivo de calor y su relación con las fracturas del yacimiento.

SE15-5

ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD SISMICA EN EL CAMPO GEOTERMICO DE LAS TRES VIRGENES, B.C.S.

Antayhua Vera Yanet¹, Lermo Samaniego Javier Francisco¹,
Romero Francisco², Bernal Esquia Yesenia Isabel¹, Vega Rocha
Daniel¹ y Chavacan Avila Marcos¹

¹ Coordinación de Ingeniería Sismológica, Instituto de Ingeniería,
UNAM

² CFE

yanet@axil.igp.gob.pe

La región geotérmica de Las Tres Vírgenes, ubicada en el extremo Este de Baja California Sur, ha sido motivo de diversos estudios geológicos y sismológicos durante estos últimos tiempos debido a su potencial geotérmico económicamente rentable. Así, en Setiembre del 2003 el Instituto de Ingeniería de la UNAM y el CFE realizaron la instalación de 10 estaciones sísmicas (temporales y permanentes) alrededor de esta región. Esta red sísmica ha permitido registrar 17 sismos regionales y locales, los mismos que se distribuyen en los extremos y sobre las trazas de los sistemas de fallas presentes.

Sin embargo, de estos 17 sismos se han seleccionado solamente 6 de ellos debido a que fueron localizados en la zona de mayor interés de este estudio. En general, estos sismos presentan magnitudes M_d menores a 2.1 y profundidades del orden de los 5 km. La orientación de la fuente obtenida a partir de la polaridad de la onda P indica que estos sismos presentan mecanismos focales de tipo inverso y transcurrentes con componentes normales.

En consecuencia, el análisis de la actividad sísmica en superficie, en profundidad y sus mecanismos focales ha permitido realizar una interpretación y la posible configuración de la sismotectónica de la zona geotérmica de Las Tres Vírgenes.

SE15-6

MODELADO GEOQUÍMICO DE FLUIDOS EN EL SISTEMA HIDROTHERMAL COSTERO DE BAHÍA CONCEPCIÓN, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

Villanueva Estrada Ruth Esther¹, Prol Ledesma Rosa María²,
Torres Alvarado Ignacio³ y Canet Miquel Carles²

¹ Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM

² Instituto de Geofísica, UNAM

³ Centro de Investigación en Energía, UNAM
estherv@mar.icmyl.unam.mx

La actividad hidrotermal submarina en Bahía Concepción (costa Este de la Península de Baja California) consiste en diversas manifestaciones termales distribuidas a lo largo de un sistema de fallas de dirección NW-SE relacionado con la tectónica extensional terciaria de la región del Golfo de California. Estas manifestaciones incluyen un área de emanación difusa de fluidos hidrotermales (agua y gas), a profundidades de entre 5 y 15 m, y un conjunto de manantiales termales situados en la zona intermareal. Las temperaturas medidas en el área de emanación difusa varían entre 50°C en el fondo marino y 87°C a una profundidad de 10 cm en los sedimentos. En los manantiales intermareales la temperatura de descarga de los fluidos alcanza los 62°C. Alrededor de las zonas de descarga de fluidos hidrotermales precipitan ópalo, calcita, barita, óxidos de Mn y de Fe, pirita y cinabrio. Los análisis químicos indican que el agua termal está enriquecida en Ca, As, Hg, Mn, Ba, HCO₃⁻, Li, Sr, B, I, Cs, Fe y Si

respecto al agua de mar. Las composiciones química e isotópica ($\delta^{18}O$, δD) del agua termal se explican mediante un modelo de mezcla simple entre agua marina local y un miembro final termal, en el que la contribución del miembro final termal en la mezcla es del 40%. La aplicación de geotermómetros (Na/Li, Na-K-Ca y Si) a partir del agua termal proporciona temperaturas de hasta 200°C para el reservorio profundo, e indica una temperatura de equilibrio somera de unos 120°C. La modelación química de las soluciones hidrotermales, teniendo en cuenta los minerales precipitados, sugiere que el agua del miembro final termal se mezcla con agua marina cuando circula a través de los sedimentos sin consolidar de la bahía, siendo éste proceso el principal factor que condiciona la composición de los fluidos descargados.

SE15-7

APLICACIÓN DEL MÉTODO INVERSO PARA UNA CARACTERIZACIÓN ÓPTIMA DE LOS CAMPOS GEOTÉRMICOS DE MÉXICO

Hernández Ochoa Abel
Instituto de Investigaciones Eléctricas
afho@iie.org.mx

México se encuentra entre los países con una mayor capacidad de producción geotermoeléctrica del mundo. Sus principales yacimientos geotérmicos de Cerro Prieto y Los Azufres, explotados por la Comisión Federal de Electricidad, son unos de los más eficientes y rentables a nivel mundial. Para incrementar la productividad geotérmica de nuestro país es primordial acrecentar el conocimiento que se tiene de los campos geotérmicos existentes y potenciales. Lo cual también permite una planeación más objetiva de la explotación de los recursos energéticos de nuestro subsuelo.

Una manera de mejorar la caracterización de nuestros yacimientos, la cual no ha sido aprovechada en estudios previos, es mediante el uso del método inverso. Esta metodología permite utilizar datos de variables de estado (presión, flujo, concentración, etc.) así como de mediciones previas de parámetros geohidrológicos (transmisividad, conductividad hidráulica, porosidad, recargas, etc.), si se cuenta con ellas, con el fin de definir mejor la distribución espacial, generalmente heterogénea, de estos parámetros. El método inverso se basa generalmente en una regresión no lineal de las ecuaciones de estado de flujo y transporte de energía y masa que se resuelve numéricamente mediante un método Gauss-Newton. Las ecuaciones de estado son implementadas previamente en un simulador numérico. La metodología inversa permite también obtener una medida de los errores de los parámetros estimados.

La predicción de flujo y transporte obtenida mediante este método utiliza al máximo la información geohidrológica y geoquímica recabada en campo. La aplicación del método inverso optimiza así el uso de la información disponible, requiriendo para ello solamente de una infraestructura computacional adecuada.

SE15-8

RESPUESTA DEL YACIMIENTO DE LOS AZUFRES, MICHOACÁN A LA EXPLOTACIÓN

Arellano Gómez Víctor Manuel¹, Torres Rodríguez Marco Antonio² y Barragán Reyes Rosa María¹
¹ Instituto de Investigaciones Eléctricas
² Comisión Federal de Electricidad
vag@iie.org.mx

Se investigó la respuesta del yacimiento de Los Azufres a la explotación a través de la evolución de las condiciones termodinámicas de los fluidos del yacimiento considerando los principales cambios ocurridos desde el inicio de su explotación en 1982 hasta 2002. Las condiciones termodinámicas de los fluidos del yacimiento se obtuvieron mediante la simulación del flujo de fluidos y calor en pozos usando el simulador de pozos "WELFLO" y datos de producción de veinte pozos del campo. Las condiciones iniciales de los fluidos en la zona norte del campo se localizaron en la región de líquido comprimido mientras que la primera respuesta a la explotación consistió en una disminución de la presión y un aumento en la entalpía de los pozos. A largo plazo se observaron cambios muy pequeños en la presión y mayores incrementos en la entalpía de los pozos. Las condiciones termodinámicas iniciales de los pozos de la zona sur mostraron la presencia de líquido comprimido, fluido bifásico y vapor. La primera respuesta a la explotación consistió en una disminución de la presión y un aumento en la entalpía de los pozos, mientras que a largo plazo se han observado diversos procesos tales como: disminución de presión y gasto, ebullición, enfriamiento, producción de vapor. En pozos afectados por la reinyección se han observado incrementos tanto en la presión como en el gasto producido.

SE15-9

PRIMERA ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS GEOTÉRMICAS DEL ESTADO DE QUERÉTARO

Iglesias Rodríguez Eduardo, Torres Rodríguez Rodolfo J. y Martínez Estrella J. Ignacio
Instituto de Investigaciones Eléctricas
iglesias@iie.org.mx

Como hemos demostrado en trabajos previos, la República mexicana cuenta con importantes reservas geotérmicas de temperaturas inferiores a 200°C, que en la actualidad son mayormente subutilizados. Dichos trabajos se enfocaron sobre las reservas agregadas de todos los estados Mexicanos con recursos geotérmicos conocidos. En este trabajo presentamos una estimación parcial de las reservas geotérmicas del Estado de Querétaro. La estimación que presentamos es necesariamente parcial porque no se cuenta todavía con la información necesaria para cubrir todos los recursos geotérmicos del Estado.

Querétaro ocupa el segundo lugar en la República considerando el número de anomalías geotérmicas catalogadas por Estado. Nuestra compilación actualizada registra 238 anomalías geotérmicas en el mismo. Esta abundancia de recursos geotérmicos es consistente con el hecho de que el 50.6% del área del Estado se localiza en el Eje Neovolcánico Mexicano.

Nuestra estimación incluye aproximadamente 47% de las anomalías geotérmicas catalogadas, distribuidas en 28 localidades geotérmicas, cuyas áreas varían entre aproximadamente 3 y 46 km².

Para estimar las reservas utilizamos el método de volumen, complementado con simulaciones Monte Carlo, con el fin de cuantificar las incertidumbres inherentes, y un factor de recuperación de 25%. Nuestros resultados indican que las reservas geotérmicas de estas 28 localidades Queretanas se ubican entre 1.9×10^{16} y 3.3×10^{16} kJ, con 90% de confianza. Las temperaturas de yacimiento más probables estimadas varían entre 76 y 148°C. Esto permitiría el aprovechamiento de las reservas en una gran variedad de aplicaciones domésticas e industriales, útiles en el entorno socioeconómico del Estado, como: secado de frutas, granos y bloques de cemento; calor de proceso para las industrias textil, papelera, azucarera, cervecera, refresquera, etc.; invernaderos; cría de peces y mariscos; calefacción y refrigeración; spas y balnearios; etc.

Las magnitudes de las reservas estimadas y de sus temperaturas asociadas son potencialmente importantes para impactar positivamente el desarrollo económico del Estado, y, particularmente, el de las poblaciones localizadas en las inmediaciones de estos recursos. A futuro, sería aconsejable obtener la información faltante de las anomalías geotérmicas catalogadas y estimar las reservas totales del Estado, que podrían llegar a duplicar aproximadamente las presentadas en esta estimación parcial.

SE15-10

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE LOS AZUFRES A TRAVÉS DE LA MODELACIÓN DE EQUILIBRIO QUÍMICO DE FLUIDOS PRODUCIDOS DURANTE 1998-2002

Barragán Reyes Rosa María¹, Arellano Gómez Víctor Manuel¹, Sandoval Medina Fernando², Amaya Cruz Sandra³ y Tello Hinojosa Enrique²

¹ Instituto de Investigaciones Eléctricas

² Comisión Federal de Electricidad

³ Universidad Autónoma de Tamaulipas
rmb@iie.org.mx

Con el propósito de investigar los efectos de la explotación del yacimiento de Los Azufres Michoacán se estudiaron los cambios de composición de los fluidos producidos durante 1998-2002, a través de la modelación de equilibrio químico y los resultados se compararon con los obtenidos para el estado inicial de yacimiento en 1987-1988. El estudio se realizó en diez pozos productores de mezcla bifásica de las dos zonas del campo empleando el programa EQQYAC para efectuar la modelación de equilibrio. La temperatura de yacimiento se estimó mediante el geotermómetro CCG mientras que en los pozos de vapor se utilizó el método FT-HSH2 que proporciona además el exceso de vapor de yacimiento. Los principales cambios observados son los siguientes: disminución del pH de yacimiento y aumento o disminución de la saturación de líquido en la formación. La disminución del pH de yacimiento se puede atribuir a la ocurrencia de ebullición del líquido profundo, inducida por la disminución de presión, que libera especies como CO₂ y H₂S que acidifican el medio. La disminución generalizada de pH modificó el equilibrio fluido-mineral desde las fases albita-feldespatos-muscovita, donde se ubicaron los fluidos en 1987-88 hacia el área de estabilidad de la muscovita. Con respecto a las condiciones iniciales, algunos pozos mostraron aumento en la saturación de líquido en la formación lo que puede deberse al arribo de fase líquida por recarga natural desde una zona más profunda del yacimiento, o bien, a través del arribo de fluidos de reinyección. Por el contrario, debido a la ocurrencia de una alta fracción de vapor de yacimiento, en otros pozos se encontró una

disminución en la saturación de líquido. La distribución de la estimación de valores de temperatura de yacimiento refleja los efectos de la reinyección de fluidos encontrándose una tendencia decreciente hacia el oeste de la zona sur, donde se localizan los pozos reinyectores de la zona.

SE15-11

GEOQUÍMICA DE MANANTIALES TERMALES DE LA ZONA DE PIEDRAS DE LUMBRE, CHIH., MÉXICO

Tello Hinojosa Enrique
Gerencia de Proyectos Geotermoelectrónicos, CFE
enrique.tello@cfegob.mx

La composición química de manantiales termales de las zonas de Recubichi y Piedras de Lumbre, Chih., fueron estudiados con el fin de establecer las características geoquímicas del acuífero somero y su interacción con fluidos geotérmicos. Se realizaron dos muestreos de fluidos en 1984 y 1995. La composición química del agua de los manantiales es sulfatado-sódica. Los manantiales más calientes se encuentran en la zona de equilibrio parcial, mientras que los de menor temperatura se desplazan hacia la región de aguas someras. La temperatura a la cual se está efectuando la interacción agua-roca es de 200°C. Los gases son característicos de un ambiente geotérmico. La temperatura estimada por gases es de 187°C. El He es de origen profundo, mientras que el N₂ es de origen atmosférico. No se detectó metano, lo que indica que el equilibrio de los gases con la fase líquida se está efectuando a temperaturas mayores de 150°C. La composición química de los manantiales de Recubichi y Piedras de Lumbre presenta una gran similitud, lo que indica que tienen el mismo origen, o bien, que son alimentados por el mismo sistema hidrotermal. No se detectó arsénico y el boro presenta concentraciones del orden de 0.175 ppm.

SE15-12

EFECTO DE LA COMPRESIBILIDAD EN ROCAS CONSOLIDADAS Y NO CONSOLIDADAS

García Manuel Pablo y Contreras López Enrique
Instituto de Investigaciones Eléctricas
pggarcia@iie.org.mx

La compresibilidad de la roca juega un papel importante en la caracterización de un yacimiento geotérmico o petrolero. La recuperación del fluido, vapor o aceite, depende en gran cantidad de propiedades tales como la permeabilidad, porosidad, difusividad térmica y la compresibilidad de la roca entre otras.

El presente trabajo muestra un análisis de la compresibilidad de rocas, propiedad que depende directamente de la relación de la presión efectiva de sobrecarga y de la relación de Poisson.

El estudio se efectuó tanto de pozos geotérmicos como de pozos petroleros. Se hace énfasis especial entre las rocas bien consolidadas las que no lo son tanto.

La investigación realizada se efectuó en laboratorio simulando las condiciones de yacimiento, considerando esfuerzo uniaxial sobre muestras cilíndricas de 4 pulgadas de diámetro por 6 pulgadas de longitud. El intervalo de presión aplicada a la muestra va desde 0 hasta 500 Kg/cm² y a la temperatura de 200°C.

El desarrollo de las pruebas se llevó a cabo en el laboratorio de yacimientos del Instituto de Investigaciones Eléctricas. El equipo experimental utilizado fue desarrollado en el mismo instituto, los componentes principales del equipo experimental son: una autoclave de confinamiento, una bomba automática multifuncional y una computadora personal.

La autoclave se utilizó para presurizar a la muestra hasta alcanzar la condición de yacimiento, la bomba se utilizó en el modo de operación de receptor de fluido para cuantificar el volumen de salmuera o aceite desalojado por la muestra cuando se le comprime. La computadora personal se encarga de controlar el proceso y de registrar los datos experimentales más relevantes.

Los resultados obtenidos muestran que el efecto de la compresibilidad de volúmenes de poros es más notorio en las rocas no consolidadas, tales como las areniscas localizadas en el golfo de México y en algunos pozos del campo de Cerro Prieto B.C.

La importancia de este estudio radica en la información obtenida que es de gran utilidad para el ingeniero de yacimientos para cuantificar el efecto sobre la porosidad efectiva del núcleo así como también el efecto de la compresibilidad de volúmenes de poros sobre la permeabilidad del núcleo.

SE15-13 CARTEL

HYDRO-GEOCHEMISTRY AND ISOTOPIC FLUID EVOLUTION OF THE "LOS AZUFRES" GEOTHERMAL FIELD, CENTRAL MEXICO

González Partida Eduardo¹, Levresse Gilles¹, Tritlla Jordi¹, Gonzalez Sanchez Francisco², Ramirez Silva German² y Venegas Salgado Saul²

¹ Centro de Geociencias, UNAM

² Comision Federal de Electricidad
egp@geociencias.unam.mx

Hydrothermal alteration at Los Azufres geothermal field is mostly propylitic with a progressive dehydration with depth and temperature increase. Argillic and advanced argillic zones overlie the propylitic zone due to the activity of gases in the system. The deepest fluid inclusions (proto-fluid) are liquid-rich with low salinity, with NaCl dominant fluid type and ice melting temperatures (T_m) near zero (0°C) and salinities of 0.8 wt % NaCl equivalent. The homogenization temperatures (Th) is Th=325±5°C. The boiling zone presents Th=±300°C and salinities between 1 and 4.9 wt % NaCl equivalent, implying a vaporization process and a very important participation of non-condensable gases (NCG), mostly CO₂. The upper part of the geothermal reservoir (from 0 to 700 m depth) presents positive chalthrate melting temperatures (fusion) with Th=150°C. These could well be the evidence of a high gas concentration. The current water produced at the geothermal wells is NaCl rich (geothermal brine) and it is fully equilibrated with the host rock at temperatures between T=300°C and 340°C. The hot springs are acid-sulfate, indicating that are formed by meteoric water heated by geothermal steam. The NCG related to the steam dominant zone are composed mostly by CO₂ (80 to 98% of all the gases). The gases represent the between the 2 to 9 wt % of the total mass of the fluid of the reservoir. We interpret the evolution of this system as deep liquid water boiling when circulates through fractures connected to the surface. Boiling is accompanied by a drop of pressure, which in turns favors an increasing steamization rate with the brine ascending towards the surface. During this ascent, the fluid changes to steam-dominant and steam in the shallowest

zone, where mixing with perched aquifers and meteoric water occurs. Stable isotope (δ¹⁸O‰-δ^D‰) of the geothermal brine indicates mixing processes between meteoric water and a minor magmatic component. The enrichment in δ¹⁸O‰ is due to the rock-water interaction at relatively high temperatures. Stable isotope data of δ¹³C 0/00 show a magmatic source with minor meteoric contribution for CO₂. The initial isotopic value for sulfur is δ³⁴SRES=-2.3 ‰, which implies a magmatic source. More negative values at shallow pyrite range from δ³⁴S FeS₂=-4‰ to -4.9‰, indicating a boiling processes. Same fractionation tendencies are observed for fluids in the reservoir (δ¹⁸O‰-δ^D‰).

SE15-14 CARTEL

LA COMPETIVIDAD ECONOMICA DE LA ENERGIA GEOTERMoeLECTRICA EN MEXICO

Bazán Perkins Sergio Dale

Depto. de Ingeniería en Energéticos, Posgrado de Ingeniería,
UNAM

bazanperkins@hotmail.com

De fundamental importancia para la seguridad del país es la generación de energía eléctrica mediante recursos energéticos domésticos, que propicien desarrollo tecnológico, a costos razonables y de altos efectos multiplicadores en sus sectores económicos. No obstante, la actual política energética de México, orientada a intensificar la generación de electricidad basada en el gas natural y carbón mineral de importación, implica mayor dependencia energética externa, fuga de divisas y mayores emisiones de gases de efecto invernadero, que no resuelven la problemática en forma eficiente y sostenida.

Particularmente, la generación geotermoelectrica resulta altamente viable para ser desarrollado al máximo en México. Su empleo favorece la seguridad del suministro eléctrico por no depender de la climatología y de los precios de los combustibles. Además de ser una fuente de energía renovable, se obtiene energía eléctrica sin emisiones de gases de efecto invernadero. En este sentido, México está entre los países avanzados en el desarrollo tecnológico de la geotermoelectricidad, desde la prospección de los campos geotérmicos hasta su empleo para la generación eléctrica, y participa en su implementación en otros países. En el 2001, al comparar su costo de generación (€3.79US/kWh) y factor un aprovechamiento (76%) con la de otras fuentes de generación (CONAE-SENER, 2002); se deduce que la generación geotérmica estaría entre las más viables del Sistema Eléctrico Nacional.

Sin embargo, de acuerdo con la información de la SENER (2003), durante el 2002 la capacidad de generación geotermoelectrica fue de apenas 843 MWe, que es el 2.0% de la capacidad instalada, cuando su potencial estimado es de 2,400 MWe. Por tanto, únicamente se emplea un 35% del potencial de generación, si se aprovecharán además el 65% restante estaría cubriendo un 6% de la capacidad.

Si bien, el potencial de generación geotermoelectrica es limitado e insuficiente para cubrir la demanda eléctrica, al intensificar la exploración y aprovechamiento de nuevos campos geotérmicos, se decrementaría el riesgo del suministro energético. En comparación, con la generación hídrica, solar y eólica, dependientes de la climatología. Recientemente, las termoelectricas a base de gas representan un alto riesgo en la seguridad energética, por la volatilidad del precio del combustible y, recientes importaciones de

gas. A su vez, al promoverse la importación de gas licuado por la vía marítima se agregan otros problemas de suministro, como acontece en Estados Unidos, asociados a la climatología y estabilidad política de los países exportadores.

En suma, la actual política energética propicia un alto riesgo en la economía de México, al no promover la expansión de electricidad mediante fuentes de energía alternas, como serían geotérmica, solar, biomasa, hidrógeno y nuclear. Por el contrario, cada vez es mayor dependencia en las importaciones de gas natural debido a los altos consumos que obliga el sector eléctrico, sustentadas con escasas reservas probadas. La "Prospectiva del Sector Eléctrico 2003-2012", SENER (2003), proyecta al 2006 que el sector eléctrico consumirá un 37% del gas natural producido y en 2010 el 40.7%. De las importaciones, absorberá hacia el 2006 el 26% y para el 2010 un 50%, cifras que se consideran conservadoras.

SE15-15 CARTEL

DETECCIÓN DE HIDROCARBUROS MEDIANTE ALGORITMOS DE LÓGICA DIFUSA EN IMÁGENES DE SATÉLITE DE ALTA RESOLUCIÓN

Torres Rodríguez Vicente, Bolongaro Crevenna Andrea, Luna Angel y Lagunas Rodrigo
Programa de Investigación en Recursos del Subsuelo, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
vicente.torres@anide.edu.mx

La detección de hidrocarburos (HC) del petróleo sobre la superficie terrestre tuvo éxitos en las zonas oceánicas mediante la utilización de radares. Del lado continental, Torres y Origel (1996) desarrollaron el índice normalizado de hidrocarburos en suelos (NDHSI) que tuvo aplicaciones exitosas con imágenes Landsat 5 en zonas tropicales.

Con la finalidad de localizar cuerpos pequeños de hidrocarburos tales como derrames, manifestaciones naturales (chapopoterías) o acumulaciones industriales, se desarrollaron algoritmos de lógica difusa que combinan: información espectral de imágenes de satélite de alta y moderada resolución, información morfológica de la geometría de los cuerpos de HC por detectar y las relaciones espaciales con sus fuentes naturales o artificiales.

Como resultado se obtuvieron metodologías para clasificar mediante técnicas de segmentación multiespectral cuerpos de hidrocarburos en variados ambientes climáticos y fisiográficos, localizados en zonas continentales.

Aplicaciones de esta tecnología conducirán a la elaboración de inventarios de manifestaciones de hidrocarburos en superficie, localización y mapeo de derrames en zonas continentales, cuantificación de pasivos ambientales de los sectores petroleros e industrial, así como el monitoreo de acciones de restauración ambiental en zonas afectadas por derrames de hidrocarburos.

SE15-16 CARTEL

SEGMENTACIÓN MUTIESPECTRAL PARA EL MAPEO DE ALTERACION HIDROTHERMAL: APLICACIÓN DE ALGORITMOS DE LOGICA

Torres Rodríguez Vicente¹, González Partida Eduardo² y Bolongaro Crevenna Andrea¹

¹ Programa de Investigación en Recursos del Subsuelo, Universidad Autónoma del Estado de Morelos

² Centro de Ciencias de la Tierra, UNAM
vicente.torres@anide.edu.mx

Se presenta una metodología para el reconocimiento y clasificación de zonas de alteración hidrotermal basada en tecnologías de análisis de imágenes multiespectrales orientada a objetos. La metodología propuesta difiere de la tradicional donde las imágenes están formadas por simples píxeles, introduciendo el concepto de objetos entre los cuales existen interrelaciones mutuas. Tales objetos (minerales y asociaciones de minerales) además de sus propiedades espectrales en las regiones visible, infrarroja y térmica, contienen propiedades "semánticas" tales como forma, dimensiones, orientaciones y relaciones con su entorno geológico, que permiten mediante el establecimiento de reglas de pertenencia (en lógica difusa), separar los que pertenecen a cada grupo mineral característico (zonas de alteración hidrotermal).

La aplicación de esta tecnología se la comparó con otros métodos basadas exclusivamente en el análisis multiespectral, como el método Crosta de clasificación por componentes principales, encontrándose una clasificación mejorada.

La clasificación de objetos mediante lógica difusa, en este caso zonas de alteración hidrotermal, permitió introducir dentro de cada objeto sus propiedades mineralógicas observables en las distintas regiones del espectro electromagnético, sus propiedades geomorfométricas y sus relaciones espaciales con las estructuras mayores del sistema volcánico al cual se encuentran asociadas.

La validación de resultados se realizó mediante comparación analítica de mapas elaborados con técnicas de cartografía geológica de campo, así como estudios geoquímicos de la mineralogía de alteración hidrotermal de muestras de campo.