Mejora en el aprovechamiento del vapor para generar energía eléctrica en el campo geotérmico de Los Azufres, Mich.

Marco A. Torres-Rodríguez, Magaly Flores Armenta y Alfredo Mendoza Covarrubias
Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Morelia, Mich., México.
Correo: magaly.flores@cfe.gob.mx

Resumen
En 1982 empezó la explotación comercial del campo geotérmico de Los Azufres, Mich., México, con la instalación y puesta en servicio de las primeras cinco unidades turbogeneradoras a contrapresión de 5 MW cada una. Actualmente la capacidad instalada es de 188 MW, con catorce unidades: cinco en la zona sur, alimentadas por el vapor de 18 pozos productores, más dos unidades de ciclo binario que utilizan salmuera residual, y siete unidades en la zona norte, alimentadas por 22 pozos. Hay siete unidades a contrapresión con un consumo específico elevado [entre 14.5 y 13.6 toneladas por hora (t/h) de vapor por MW], tres de las cuales se localizan en la zona sur y cuatro en la zona norte. En este documento se presenta un proyecto para hacer más eficiente el aprovechamiento del recurso geotérmico, que consiste en la sustitución de esas siete unidades a contrapresión, que además de su consumo específico elevado ya han cumplido o están próximas a cumplir sus periodos de vida útil, por dos nuevas unidades a condensación, de menor consumo específico: una de 50 MW, ubicada en la zona norte, y otra de 25 MW en la zona sur, sin necesidad de perforar nuevos pozos para empezar su operación. De esta manera el consumo específico se reduciría a entre 8.8 y 7.2 t/h por MW (un ahorro del 47%), incrementando los ingresos por generación de energía sin requerir aumentos en la extracción de masa del yacimiento.

Palabras clave: Desarrollo geotermoeléctrico, ingeniería de yacimientos, Los Azufres, unidades de generación, uso eficiente del vapor.

Improvement in using steam for electric generation at the Los Azufres, Mich., geothermal field

Abstract
Commercial exploitation in the Los Azufres geothermal field, Michoacán, Mexico, started in 1982 when the first five backpressure-power units of 5-MW each were commissioned. Nowadays the installed capacity is 188 MW from 14 units: five in the South Zone fed by steam produced from 18 production wells plus two binary-cycle power units fed by residual brines; and seven in the North Zone with steam supplied by 22 production wells. There are seven backpressure-power units with high specific consumption [between 14.5 and 13.6 tons per hour of steam (t/h) per MW]. Three operate in the South Zone and four in the North Zone. This paper shows a way to achieve more efficient use of the geothermal resource by replacing the seven backpressure units, which have completed their useful lifetime—or are close to do it—with two, new condensing power units with lower specific consumption: one unit of 50 MW to be located in the North Zone and the other of 25 MW to be placed in the South Zone. No new wells need be drilled. In this way, the average specific consumption would be reduced to 8.8-7.2 t/h per MW (saving 47% of the steam), the income for electric generation would be increased and the steam-extraction rate would remain the same.

Keywords: Geothermal-electric development, reservoir engineering, Los Azufres, power units, efficient use of steam.

Introducción

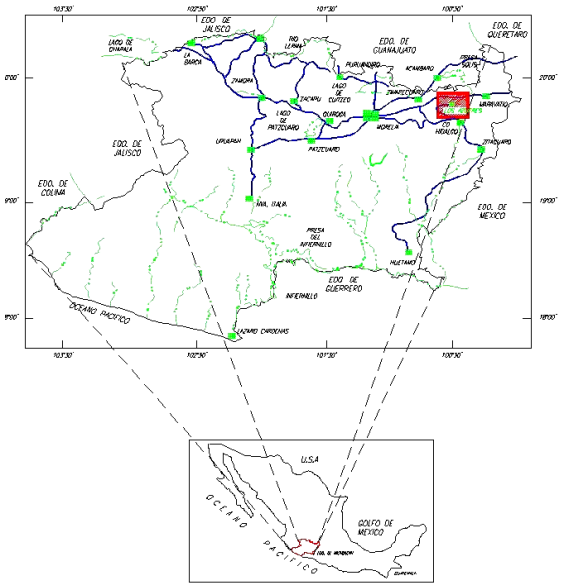

Fig. 1. Ubicación de Los Azufres.

El campo geotérmico de Los Azufres se localiza en la Sierra de San Andrés, en el límite oriental del Estado de Michoacán, a 80 km al oriente de la ciudad de Morelia y a 250 km de la Ciudad de México (Fig. 1). Está enclavado en un complejo volcánico a una elevación promedio de 2800 metros sobre el nivel del mar. La zona es boscosa, considerada desde 1979 como Zona de Protección Forestal. El sector estudiado comprende un área de 56 km^2.

En 1982 empezó la explotación comercial del campo con la instalación y puesta en servicio de las primeras cinco unidades turbogeneradoras a contrapresión, de 5 MW cada una, con el objetivo de probar las nuevas zonas bajo condiciones de explotación comercial continua, y se fue incrementando en forma gradual hasta el año 2003, cuando se pusieron en servicio cuatro unidades de 25 MW cada una.

Actualmente, la capacidad instalada es de 188 MW, consistiendo en catorce unidades distribuidas de la siguiente manera: cinco en la zona sur, alimentadas por el vapor de un grupo de 18 pozos productores, más dos unidades de ciclo binario que utilizan salmuera residual, y siete unidades en la zona norte alimentadas por el vapor de 22 pozos. Para mantener operando las unidades se producen anualmente 14 millones de toneladas de vapor endógeno, en promedio, y 6.9 millones de toneladas de salmuera que son inyectadas en el yacimiento a través de seis pozos inyectores, con la finalidad de recargarlo, además de evitar impactos negativos en el medio ambiente. En la Tabla 1 se muestran las fechas de entrada en operación de todas las unidades que operan en la actualidad en el campo.

Unidad	Fabricante	Potencia neta (MW)	Entrada en operación
U-2	Mitsubishi	5	04-Ago-1982
U-3	Mitsubishi	5	10-Ago-1982
U-4	Mitsubishi	5	17-Ago-1982
U-5	Mitsubishi	5	26-Ago-1982
U-6	Toshiba	5	23-Dic-1986
U-7	General Electric	50	12-Nov-1988
U-9	Ansaldo	5	24-Abr-1990
U-10	Ansaldo	5	14-Oct-1992
U-11*	Ormat	1.5	03-Jul-1993
U-12*	Ormat	1.5	07-Oct-1993
U-13	Alstom	25	30-Ene-2003
U-14	Alstom	25	07-Feb-2003
U-15	Alstom	25	10-May-2003
U-16	Alstom	25	02-Jul-2003

** Unidades de ciclo binario que operan con salmuera residual.*

Tabla 1. Fechas de entrada en operación de las unidades que operan actualmente en Los Azufres

A la fecha se han perforado 80 pozos con una profundidad entre 600 y 3500 m, de los cuales 42 están en producción actualmente, 6 son inyectores, 4 se emplean como pozos de monitoreo, 21 son no productores, 5 han sido abandonados por diversas causas y 2 fueron pozos exploratorios.

Con la finalidad de utilizar de una manera más eficiente el vapor que ya se dispone actualmente en superficie y asegurar la sustentabilidad del proyecto de Los Azufres, se plantea en este trabajo la sustitución de las unidades a contrapresión, que por su diseño tienen altos consumos específicos de vapor, por unidades a condensación de bajo consumo específico, sin necesidad de perforar nuevos pozos.

Capacidad del yacimiento

El esquema actual de suministro de vapor de las unidades que operan en Los Azufres se presenta en la Tabla 2. En resumen, en la Zona Sur del campo hay cinco unidades instaladas que requieren un suministro continuo de 838 t/H de vapor, el cual es suministrado por 19 pozos que producen en conjunto 866 t/h. Es decir, la zona sur cuenta con el vapor suficiente para operar a la capacidad nominal de las unidades, pero con un respaldo mínimo de apenas 28 t/h.

La Zona Norte, por su parte, tiene 7 unidades en operación que funcionan con un consumo total de 812 t/h de vapor, el cual se suministra con 23 pozos que producen 973 t/h. Es decir, en esta zona hay un excedente de 161 t/h de vapor, debido a que la estimulación ácida realizada en 2005 y 2006 mejoró la producción de los pozos Az-9AD, Az-9A y Az-56R. En la práctica estos pozos (marcados con color rojo en la Tabla 2) se están operando con una producción menor a la máxima posible reportada en esa tabla, a fin de reducir su ritmo de declinación.

Con la finalidad de evaluar el potencial energético del yacimiento y de establecer las estrategias de explotación más adecuadas se han realizado varios estudios de simulación numérica del yacimiento geotérmico de Los Azufres, elaborados tanto por firmas de ingeniería externas como por la misma CFE. El penúltimo estudio de simulación numérica se efectuó en 2003 por la compañía GeothermEx (2003) y fue actualizado en 2004 (Molina, 2004). Se utilizó un modelo de doble porosidad en el simulador de yacimientos comercial TETRAD. Los resultados indican que el campo puede sostener una generación de 185 MW durante al menos 30 años, con únicamente 4 pozos de reposición (sin considerar que algún pozo actual deje de producir o se incruste). Estos pozos de reposición se perforarían en la zona norte del campo a razón de aproximadamente un pozo cada 1.5 a 2 años, comenzando en 2010. La simulación pronostica una tendencia general de aumento en la entalpía, sobre todo en la zona sur. Asimismo, pronostica una declinación en la producción mayor en la zona norte que en la sur, debido a que la permeabilidad en la zona norte es menor que en la sur.

En abril de 2007 la empresa japonesa West Japan Engineering Consultants (2007) presentó el Estudio de Factibilidad del Proyecto de Expansión de Energía Geotérmica Los Azufres III, en donde analiza el incremento de la capacidad instalada a 227 MW. Los resultados indican que el proyecto es factible desde los puntos de vista técnico, económico y financiero, y que el yacimiento tiene capacidad suficiente para soportar el incremento en la potencia.

A continuación se presenta el esquema, en cada una de las zonas del campo, para aprovechar de una manera más eficiente el vapor sin necesidad de construir más infraestructura para la extracción de fluido del yacimiento.

Propuesta para la Zona Sur del campo

ZONA	UNIDAD(ES)	CONSUMO DE VAPOR (t/h)	POZOS	PRODUCCIÓN DE VAPOR* (t/h)
SUR	U-2	68	AZ-17	39
			AZ-34	43
	U-7 U-13	440 180	AZ-2A	50
			AZ-1A	48
			AZ-6	25
			AZ-16	11
			AZ-16D	20
			AZ-22	101
			AZ-25	16
			AZ-33	42
			AZ-35	43
			AZ-36	16
			AZ-37	28
			AZ-38	84
			AZ-46	50
			AZ-62	88
			AZ-23	22
	U-6 U-10	75 75	AZ-18	73
			AZ-26	67
TOTAL	**5**	**838**	**19**	**866**
NORTE	U-15 U-16	180 180	AZ-41	10
			AZ-56R	53
			AZ-67	23
			AZ-69D	59
			AZ-66D	38
			AZ-65D	39
			AZ-57	20
			AZ-28A	23
			AZ-28	75
			AZ-19	66
			AZ-4	23
			AZ-30	14
	U-5	68	AZ-09	10
			AZ-09A	49
			AZ-9AD	69
			AZ-45	20
	U-3 U-4 U-9 U-14	65 63 76 180	AZ-43	57
			AZ-42	60
			AZ-48	45
			AZ-32	48
			AZ-51	28
			AZ-13	68
			AZ-5	76
TOTAL	**7**	**812**	**23**	**973**

** Producción promedio de vapor de cada pozo reportada para el mes de julio de 2007.*

Tabla 2. Esquema actual de suministro de vapor a las unidades de Los Azufres.

En la zona sur operan actualmente tres unidades a contrapresión de 5 MW cada una, que son las unidades 2, 6 y 7 (Tabla 3), cuyo consumo total de vapor es de 218 t/h para un consumo específico promedio de 14.5 t/h por MW. El balance de vapor actual se muestra en la Tabla 3.

Esquema actual		Esquema propuesto	
Producción total de vapor:	866 t/h	Producción total de vapor:	866 t/h
Consumo U-7 y U-13:	620 t/h	Consumo U-7 y U-13:	620 t/h
Consumo U-2, U-6 y U-10:	218 t/h	Consumo nueva unidad de 25 MW:	220 t/h
Pérdidas (1%):	9 t/h	Pérdidas (1%):	9 t/h
Vapor de respaldo:	19 t/h	Vapor de respaldo:	17 t/h
Potencia:	90 MW	Potencia:	100 MW
Porcentaje de respaldo de vapor:	2.2%	Porcentaje de respaldo de vapor:	2.0%

Tabla 3. Esquemas actual y propuesto de suministro de vapor en la Zona Sur.

Con la finalidad de hacer más eficiente el uso del vapor disponible, en la misma Tabla 3 se muestra el balance de vapor que se tendría al sustituir las tres unidades a contrapresión que operan actualmente por una unidad a condensación de 25 MW. Así, la potencia aumentaría a 100 MW (10 más de los actuales), sin necesidad de perforar pozos nuevos. El consumo específico promedio se reduciría de 14.5 t/h por MW en las unidades a contrapresión a 8.8 t/h por MW en la nueva unidad de 25 MW, ya que con 2 t/h más de vapor se podrían generar 10 MW adicionales. Esto permitiría una operación más racional de los pozos y un uso más eficiente del vapor.

Las unidades a contrapresión que se propone sustituir son la U-2, localizada en la plataforma del pozo Az-17, la U-6, ubicada en la plataforma del pozo Az-18, y la U-10, localizada en la plataforma del pozo Az-26. De acuerdo con la Tabla 1, la U-2 ha estado en operación por 25 años, la U-6 por 21 años y la U-10 por 15 años. Por lo tanto, las unidades 2 y 6 han rebasado ya su tiempo de vida útil mínimo de 20 años, y la unidad 10 lo hará en el año 2012.

Por otro lado, deberá tomarse en cuenta en el diseño de la unidad a condensación de 25 MW a instalarse en la zona sur, que el porcentaje promedio de gases incondensables en la zona sur es de 10%, lo que implicaría un costo adicional para esta unidad.

Propuesta para la Zona Norte del campo

En la zona norte operan actualmente cuatro unidades a contrapresión de 5 MW cada una, que son las unidades 3, 4, 5 y 9. De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 2, estas unidades consumen un total promedio de 272 t/h de vapor, para un consumo específico de 13.6 t/h por MW. Las unidades 3, 4 y 9 se localizan en las inmediaciones de la Unidad 14, de 25 MW, y la unidad 5 cerca de la Unidad 16, en el sector conocido como El Chino. El balance de vapor actual en esta parte del campo se muestra en la Tabla 4.

La producción total de vapor actual es de 973 t/h con la que se alimenta a las cuatro unidades de 5 MW y a tres unidades de 25 MW (unidades 14, 15 y 16). Con la finalidad de hacer más eficiente el uso del vapor disponible, en la misma Tabla 4 se muestra el balance de vapor que se tendría al sustituir las cuatro unidades a contrapresión que actualmente operan por una unidad a condensación de 50 MW. En este sector del campo se incrementaría la capacidad instalada en 30 MW netos sin necesidad de perforar nuevos pozos, y se lograría abatir el consumo específico actual de 13.6 t/h de vapor por MW de las cuatro unidades a contrapresión a 7.2 t/h por MW en la nueva unidad a condensación de 50 MW.

Esquema actual		Esquema propuesto	
Producción total de vapor:	973 t/h	Producción total de vapor:	973 t/h
Consumo U-14, U-15 y U-16:	540 t/h	Consumo U-14, U-15 y U-16:	540 t/h
Consumo U-3, U-4, U-5 y U-9:	272 t/h	Consumo nueva unidad de 50 MW:	360 t/h
Pérdidas (2.7%):	26 t/h	Pérdidas (2.7%):	26 t/h
Vapor de respaldo:	135 t/h	Vapor de respaldo:	47 t/h
Potencia:	95 MW	Potencia:	125 MW
Porcentaje de respaldo de vapor:	13.9%	Porcentaje de respaldo de vapor:	4.8%

Tabla 4. Esquemas actual y propuesto de suministro de vapor en la Zona Norte.

Como se observa en la Tabla 1, las unidades 3, 4 y 5 estarían cumpliendo 30 años de operación en el año 2012, mientras que la unidad 9 habría llegado a 22 años de servicio. Por lo tanto, las cuatro unidades a contrapresión habrían rebasado ya su vida útil mínima de 20 años para cuando fueran reemplazadas por una nueva unidad.

5. Conclusiones

- Las unidades a contrapresión de 5 MW fueron adquiridas con el objetivo primario inicial de probar el comportamiento del yacimiento geotérmico sometido a una explotación comercial continua. Una vez que se comprobara la capacidad del yacimiento para sostener la generación comercial, la siguiente etapa era instalar unidades a condensación más eficientes. Evidentemente, ese propósito inicial ya se alcanzó tiempo atrás en el campo de Los Azufres.

- Las unidades a contrapresión operando actualmente tienen antigüedades entre los 15 y 25 años. Algunas ya alcanzaron su vida útil y otras lo harán en los próximos cinco años.

- Con la sustitución de las unidades a contrapresión por unidades a condensación, se lograría un uso más eficiente del vapor actualmente disponible en superficie, al reducir los consumos específicos de entre 14.5 y 13.6 t/h por MW a entre 8.8 y 7.2 t/h por MW y sin necesidad de nuevas inversiones en pozos adicionales.

- El reemplazo de las cuatro unidades a contrapresión que operan actualmente en la Zona Norte por una de 50 MW a condensación, permite aprovechar el vapor de respaldo actualmente disponible en esa zona, que es de 135 t/h.

- La sustitución de las tres unidades a contrapresión de la Zona Sur por una de 25 MW a condensación, sólo requiere 2 t/h adicionales a las que se consumen actualmente, que ya están disponibles en el vapor de respaldo en esa zona, que es de 19 t/h de vapor.

- La capacidad instalada total del campo se incrementaría de 185 MW (sin contar a las dos unidades de ciclo binario) a 225 MW, lo que representa 40 MW netos adicionales, es decir un 22%, utilizando el mismo vapor actualmente disponible en superficie. Con ello se tendrían ingresos adicionales por concepto de generación de energía eléctrica.

Referencias

Comisión Federal de Electricidad, 2006. Plan de Expansión 2006 del Campo Geotérmico Los Azufres. CFE, informe interno. Inédito.

GeothermEx, 2003. Actualización del modelo conceptual y numérico del Campo Geotérmico de Los Azufres, Michoacán, México. Informe preparado para la CFE. Inédito.

Molina, A., 2004. Actualización del modelo numérico del Campo Geotérmico de Los Azufres. CFE, informe interno No. DINYAC-039-2004. Inédito.

West Japan Engineering Consultants, 2007. Estudio de Factibilidad del Proyecto de Expansión de Energía Geotérmica Los Azufres III. Informe interno preparado para la CFE. Inédito.