

## **Respuesta del yacimiento a una administración y uso sustentable del vapor en el campo geotérmico de Los Azufres, Mich.**

**Elvia Nohemí Medina Barajas y Fidel Alejandro Sandoval Medina**

CFE, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Residencia de Los Azufres, Residencia de Estudios, Área de Ingeniería de Yacimientos, Agua Fría, Mich. Correos: [elvia.medina@cfe.gob.mx](mailto:elvia.medina@cfe.gob.mx), [alejandro.sandoval@cfe.gob.mx](mailto:alejandro.sandoval@cfe.gob.mx)

### **Resumen**

El campo geotérmico de Los Azufres inició su operación comercial en los años ochenta con la instalación de las primeras cuatro unidades a contrapresión de 5 MW cada una, dos de ellas en la zona sur y las otras en la zona norte. A lo largo de más de 30 años se ha incrementado la capacidad de generación, la explotación del recurso geotérmico y la operación comercial. El resultado fue que el yacimiento había venido presentando niveles de declinación en su producción del orden del 9%. Sin embargo, a partir del año 2008 se ha logrado mantener estable el régimen de explotación, con lo cual la declinación de la producción y de la presión del yacimiento se ha mantenido estable en valores menores al 6%. Actualmente se encuentran integrados al sistema de generación 41 pozos con producciones que oscilan en el rango de 13 a 100 toneladas por hora (t/h) de vapor a condiciones de operación, con lo que es posible mantener una generación de 185 MW de capacidad instalada, compuesta por una unidad a condensación de 50 MW, cuatro unidades a condensación de 25 MW cada una y siete unidades a contrapresión de 5 MW cada una. En este trabajo se muestran los resultados obtenidos en el comportamiento de la presión del yacimiento en respuesta a las medidas implementadas para hacer un uso sustentable del recurso geotérmico en este campo.

*Palabras clave:* Ingeniería de yacimientos, evolución del yacimiento, producción de vapor, presión de yacimiento, explotación sustentable.

### **1. Antecedentes**

Con la perforación del primer pozo en 1976 empezó también el aprovechamiento del recurso geotérmico en el campo geotérmico de Los Azufres, Mich. En 1982 entraron en operación las primeras cuatro unidades de generación a contrapresión de 5 MW cada una, dos en la zona norte y dos en la zona sur. De 1982 a 1993 se instalaron 8 unidades más y se llegó a 98 MW en capacidad de generación, manteniendo este régimen de generación alrededor de 10 años. La utilización continua del recurso geotérmico del yacimiento ocasionó una declinación natural en la producción y en la presión, la cual se estimó en alrededor del 2% anual, en esos años y con la capacidad instalada en funcionamiento de 98 MW.

Los estudios posteriores realizados al yacimiento indicaron que se contaba con suficiente recurso para expandir el campo y tener un crecimiento en generación eléctrica, por lo que, con la perforación de nuevos pozos y la entrada de 4 unidades de 25 MW cada una en el año 2003, se aumentó la capacidad de generación instalada a 188 MW. Aunque ya no operan las dos pequeñas unidades de ciclo binario de 1.5 MW cada una, con lo que la capacidad instalada actual es de 185 MW, esta generación se ha mantenido a lo largo de 10 años.

La respuesta del yacimiento a este nuevo régimen de explotación lógicamente ocasionó una fuerte declinación en la producción de los pozos y en la presión del yacimiento, llegándose a estimar valores de declinación promedio de producción de hasta 9% anual y de hasta 4% en la presión para el año 2007. En respuesta a esa fuerte declinación, se tomaron medidas que consistieron en adoptar acciones preventivas y correctivas para tratar de minimizarla.

En este trabajo se discuten esas acciones preventivas y correctivas y se muestra que han tenido como resultado una disminución de la declinación promedio de la producción y de la presión del yacimiento del campo geotérmico, con lo que se ha conseguido una administración y uso sustentable del recurso hasta la fecha.

## 2. Situación actual

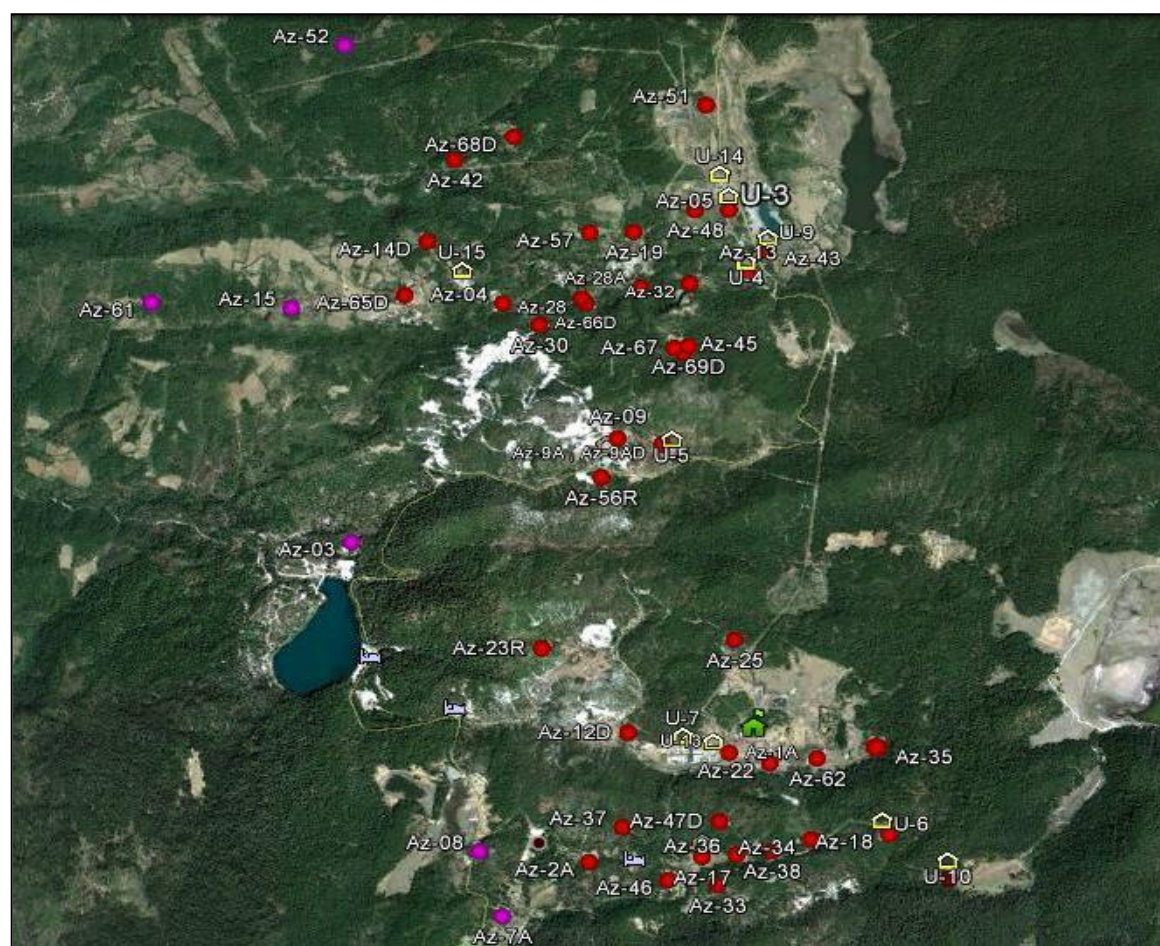


Fig. 1.  
Ubicación  
de pozos y  
unidades  
en Los  
Azufres.

Después de más de 30 años de explotación y generación comercial, el campo geotérmico de Los Azufres posee una infraestructura con la cual es capaz de generar 158 MW. En la Figura 1 se muestra un panorama actual del desarrollo del campo, el cual se ha dividido en dos zonas para su estudio y explotación claramente definidas como Zona Norte y Zona Sur. Hay actualmente 43 pozos productores integrados al sistema de generación, suficientes para abastecer de vapor a 12 plantas de generación con capacidades de 5, 25 y 50 MW.

La disposición final de la salmuera geotérmica se realiza a través de 6 pozos inyectoros ubicados en la periferia del yacimiento. Los pozos inyectoros tienen una capacidad de aceptación promedio de 338 t/h cada uno, más que suficiente para disponer la salmuera producida y los condensados de las unidades. Así, actualmente se reinyectan 955 t/h de fluido, aproximadamente, de las cuales 600 t/h son de salmuera y 355 t/h son condensados de las unidades. Por lo tanto, hay un respaldo de más de mil t/h en capacidad de aceptación de los pozos inyectoros del campo.

### 3. Estudio de la evolución de la presión del yacimiento

Para determinar cómo ha ido evolucionando la presión del yacimiento en respuesta a la explotación, es necesario monitorear continuamente este parámetro en sitios estratégicos. Para ello es conveniente tener pozos específicos de monitoreo lo que en muchas ocasiones no es factible. Por otra parte, los compromisos de entrega de vapor impiden realizar registros de presión y temperatura en condiciones estáticas, ya que ello implica esperar un tiempo para estabilizar las condiciones de un pozo que ha estado en producción. En el caso de un pozo que produce mezcla, tampoco es viable cerrarlo por completo por el riesgo de no poder ponerlo nuevamente en condiciones de producción.

El tiempo para tomar un registro de presión en condiciones estáticas, varía entre una y dos semanas por lo menos, y da como resultado un solo dato de presión estática. Además, esto sólo puede hacerse cuando la unidad de generación entra a mantenimiento, ya que de otra forma habría que sacar al pozo del sistema y no generar electricidad en ese lapso de tiempo.

Por todo ello, en el campo de Los Azufres se ha optado por estimar la presión que tendría un pozo si estuviera en condiciones estáticas, a fin de dar seguimiento al comportamiento de la presión en respuesta a la explotación del recurso. Así, desde hace nueve años se ha venido haciendo este cálculo y se ha logrado observar que al variar las condiciones de un pozo en producción se obtiene de manera rápida una respuesta en el yacimiento, que corresponde a esa alteración. Los cálculos se realizan en todos los pozos productores del campo, y de acuerdo a la evolución de la presión y la producción, se hacen recomendaciones para minimizar los efectos de sobreexplotación y abatimiento de la presión.

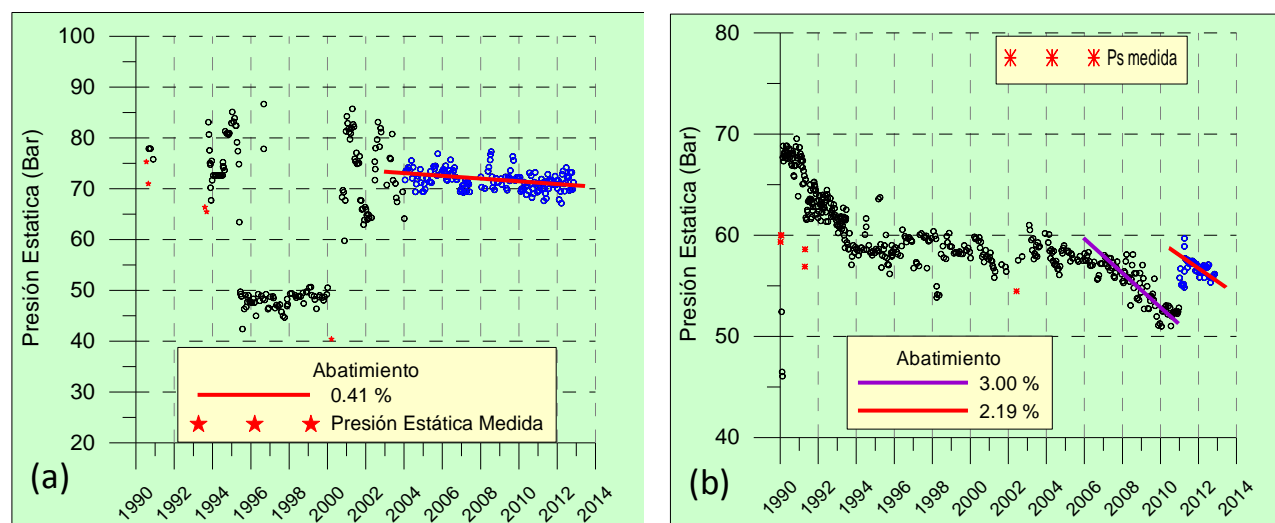


Fig. 2. Abatimiento de la presión con el tiempo (a) en el pozo Az-048, (b) en el pozo Az-022.

Por ejemplo, en las figuras 2(a) y 2(b) se muestran algunos ejemplos del análisis para estimar el abatimiento de la presión del yacimiento por medio de los pozos productores del campo. En esas figuras aparecen unos puntos en color rojo que corresponden a datos medidos y que fueron obtenidos durante un registro de presión en condiciones estáticas. Como se puede observar, esos datos medidos siguen la tendencia de los datos calculados, con lo que esta metodología ofrece una aceptable aproximación a la evolución real del abatimiento de la presión.

El porcentaje de abatimiento de la presión en todo el campo se calcula con el resultado del porcentaje de abatimiento en cada pozo. Actualmente se estima un abatimiento de la presión de 1.17% anual para el campo en su conjunto, porcentaje que se ha venido reduciendo gracias a las acciones que se han tomado y que han permitido realizar una explotación racional del recurso geotérmico con los resultados que se comentan a continuación.

#### 4. Explotación racional del recurso geotérmico

Para poder realizar una explotación racional del recurso geotérmico es necesario evaluar las condiciones de producción de cada pozo, sobre todo de los pozos que presentan una declinación fuerte de su producción o un comportamiento variable. Es decir, pozos que no tienen una producción estable a lo largo del tiempo. Esas evaluaciones dan como resultado determinar cuál es el orificio de producción óptimo a través del cual el pozo puede ser integrado al sistema de generación, así como su máxima producción. En ocasiones es difícil realizar estas evaluaciones, ya que sólo se pueden hacer durante la salida de las unidades a mantenimiento, y siempre que existan instalaciones adecuadas para las mediciones.

Cuando no es posible evaluar un pozo, lo que se hace es revisar su historial de producción, y de acuerdo al comportamiento de la producción y de la presión de cabezal, se identifica el orificio de producción óptimo. En varios pozos se ha observado que disminuyendo el orificio de producción al mínimo, la producción se mantiene prácticamente igual pero se logra recuperar 1 o 2 barg en la presión de cabezal del pozo. Con ello se consigue una declinación menor en el abatimiento de la presión del yacimiento y en la producción del pozo.

La Tabla 1 presenta los 21 pozos a los que se ha realizado una reducción del orificio de la placa de producción, en los últimos años. En todos ellos la presión de cabezal se ha recuperado y su producción presenta una declinación menor a la anterior.

Pozos en los que se ha reducido el orificio de la placa de producción	Año
Az-04, Az-16D, Az-51	2006
Az-09, Az-17, Az-37	2007
Az-01A, Az-06, Az-13, Az-23R, Az-25, Az-33, Az-46	2009
Az-2A, Az-28A	2010
Az-22, Az-26, Az-43, Az-45	2011
Az-46, Az-65D	2012

*Tabla 1. Pozos donde se ha realizado reducción de orificio de producción.*

En las Figuras 3(a) y (b) se muestra el caso de uno de esos pozos, el Az-26, cuyo orificio de producción se redujo de 6.5" de diámetro a 6" en el año 2011.

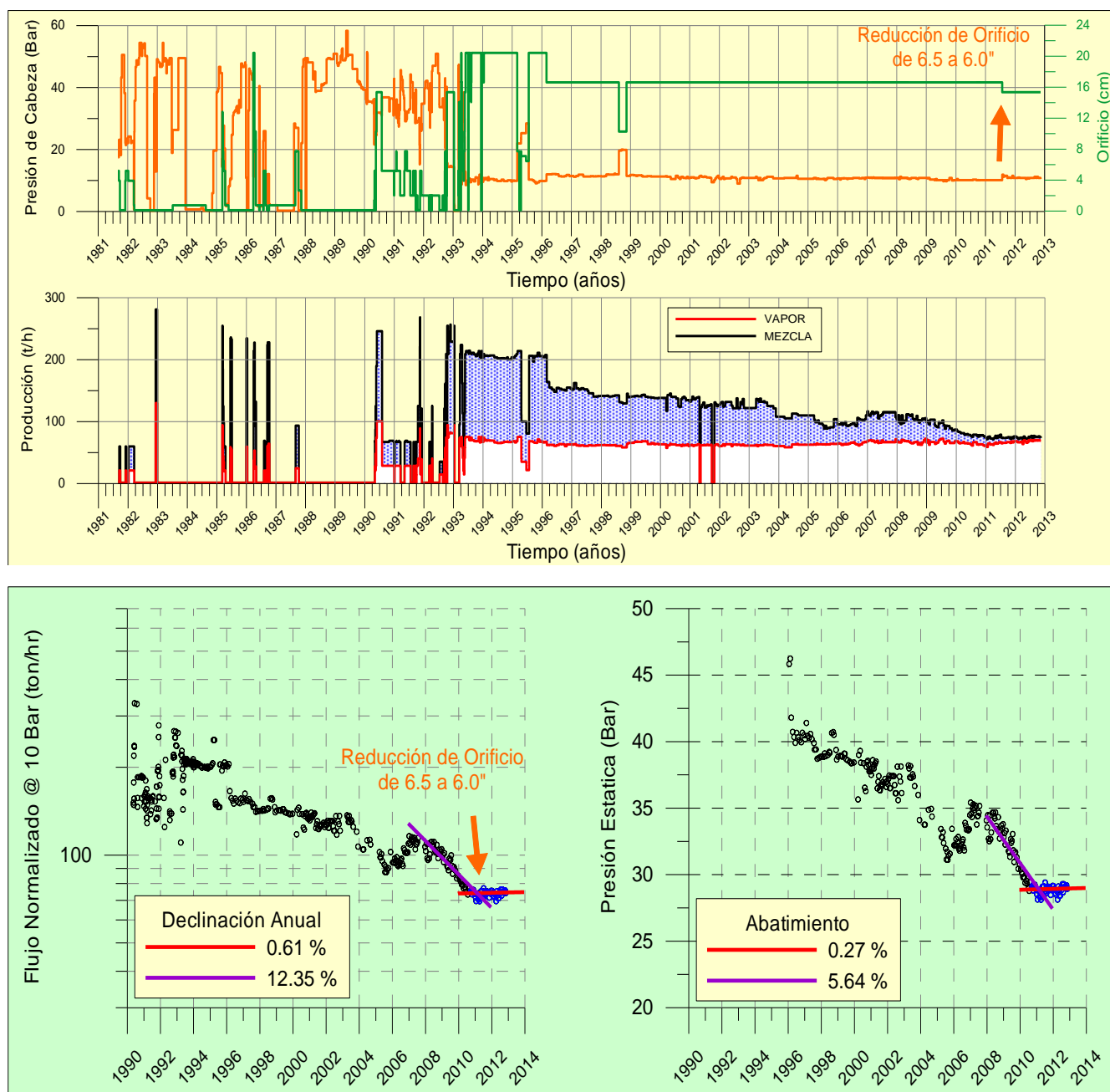


Fig. 3. (a, arriba) Características de producción del pozo Az-026 entre 1981 y 2013. (b, abajo) Declinación anual de producción y abatimiento de la presión estática en el pozo Az-026 entre 1990 y 2013.

Puede verse que el pozo Az-26 ha sido un excelente pozo productor, con más de 30 años en actividad y más de 100 t/h de mezcla entre 1992 y 2005 (Fig. 3a). Desde 2008, sin embargo, se observó una tendencia clara a reducir fuertemente su producción, en un promedio anual calculado en 12.35% entre 2008 y 2011. Su presión también declina notoriamente en ese periodo, un promedio de 5.64% al año (Fig. 3b). Así, en 2011 se decide reducir ligeramente el diámetro del orificio de producción, de 6.5 a 6", con el resultado inmediato de que la producción y la presión casi se estabilizan (declinaciones mínimas de 0.61% y 0.27% anual, respectivamente) (Fig. 3b), y continúan así hasta el momento.

## 5. Aprovechamiento sustentable y administración del recurso geotérmico

Uno de los criterios de la operación estándar de los pozos productores del campo de Los Azufres, había sido que cuando salen las unidades de generación a su periodo de mantenimiento también salen del sistema de suministro los pozos productores integrados a esas unidades. Por tanto, el vapor producido por cada uno de esos pozos era enviado bajo las mismas condiciones de producción hacia un silenciador y se descargaba a la atmósfera.

Como parte de un aprovechamiento sustentable del recurso, se buscó minimizar la cantidad de vapor que se descarga a la atmósfera durante la salida a mantenimiento de las unidades y conservar la mayor cantidad posible dentro del yacimiento. Para ello se puso en marcha un programa de ahorro de vapor, que básicamente consiste en cambiar la placa de orificio por la que producen los pozos por otra con un orificio de restricción, de diámetro más reducido, para abatir su producción. Para ello, hay que seleccionar con cuidado a cuáles de los pozos que suministran vapor a la unidad que saldrá a mantenimiento se les puede cambiar la placa de orificio, evaluando su comportamiento y su historia de producción, así como el estado de sus tuberías de revestimiento.

El programa de ahorro de vapor se aplicó por primera vez en 2009 durante el mantenimiento de las unidades U-7 y U-16, y se ha continuado hasta la fecha, como se indica en la Tabla 2.

Unidad	Año	Periodo de Mantenimiento		Periodo de Restricción (Días)	Pozo	Tipo de Fluido	Qv Descargado t/h	Orificio Integración (plg)	Qv en restricción t/h	Qv ahorrado t/h
7	2009	16/02/2009	11/04/2009	36	Az-06	Vapor	30	2.5	10	20
		16/02/2009	11/04/2009	36	Az-016AD	Vapor	17	2.5	8	9
		16/02/2009	11/04/2009	37	Az-33	Mezcla	32	3.5	0	32
		16/02/2009	11/04/2009	36	Az-36	Vapor	16	2.5	0	16
		16/02/2009	11/04/2009	37	Az-37	Vapor	26	3	8	18
		16/02/2009	11/04/2009	35	Az-38	Vapor	79	5	20	59
		16/02/2009	11/04/2009	36	Az-46	Vapor	41	4	0	41
16		23/10/2008	23/01/2009	92	Az-067	Mezcla	23	2	0	23
		29/05/2009	20/06/2009	22	Az-057	Mezcla	15	1.5	0	15
15	2010	15/02/2010	10/03/2010	24	Az-028	Mezcla	73	3.75	40	33
		18/02/2010	10/03/2010	21	Az-030	Mezcla	13	2.25	7	6
		15/02/2010	10/03/2010	23	Az-065D	Mezcla	40	4.5	20	20
		15/02/2010	10/03/2010	24	Az-066D	Mezcla	43	3	13	30
9		10/04/2010	29/04/2010	19	Az-043	Mezcla	53	4.5	17	36
14	2011	09/02/2011	19/02/2011	9	Az-019	Mezcla	68	4	19	49
		09/02/2011	06/03/2011	24	Az-048	Mezcla	48	3.5	12	36
		09/02/2011	06/03/2011	24	Az-051	Mezcla	46	5	27	19
13		20/03/2011	20/04/2011	31	Az-22	Mezcla	98	6.5	32	66
2		07/11/2011	30/11/2011	19	Az-017	Vapor	35	4	0	35
		07/11/2011	30/11/2011	21	Az-034	Vapor	39	4	18	21
13	2012	27/02/2012	15/05/2012	79	Az-06	Vapor	26	2.5	8	18
		28/02/2012	15/05/2012	78	Az-016AD	Vapor	17	2.5	8	9
		18/03/2012	20/05/2012	64	Az-033	Mezcla	33	3.5	12	21
		01/03/2012	15/05/2012	76	Az-037	Vapor	22	3	8	14
		29/02/2012	15/05/2012	77	Az-038	Vapor	72	5	19	53
		29/02/2012	16/05/2012	78	Az-046	Vapor	38	4	13	25
6		11/03/2012	29/04/2012	50	Az-18	Vapor	57	4.75	9	48
4		21/07/2012	30/07/2012	10	Az-013	Vapor	69	3.5	10	59
7		11/09/2012	26/10/2012	45	Az-01A	Mezcla	36	3.5	22	14
		27/08/2012	11/10/2012	45	Az-06	Vapor	23	2.5	7	16
		31/08/2012	10/10/2012	40	Az-016AD	Vapor	18	2.5	8	10
	27/08/2012	10/10/2012	44	Az-033	Mezcla	28	3.5	9	19	
	27/08/2012	10/10/2012	44	Az-035	Vapor	35	4	8	27	
	29/08/2012	11/10/2012	43	Az-037	Vapor	25	3	7	18	
	28/08/2012	11/10/2012	44	Az-038	Vapor	76	5	20	56	
	29/08/2012	10/10/2012	42	Az-046	Vapor	37	3.5	10	27	
	31/08/2012	10/10/2012	40	Az-09A	Mezcla	43	4	21	22	

Tabla 2. Unidades y pozos considerados en el Programa de Ahorro de Vapor de 2009 a 2012.

Como se ve, la Tabla 2 se presenta el año, el periodo de tiempo en que salieron a mantenimiento las unidades, los pozos que suministraban vapor a cada unidad y que fueron seleccionados como idóneos para el programa de Ahorro de Vapor, su tipo de fluido y su producción. Asimismo, en la siguiente columna se muestra el orificio de restricción propuesto para ahorrar vapor durante el periodo de mantenimiento de la unidad, y en las últimas dos columnas se muestra el gasto de vapor que se descarga a la atmósfera con el orificio de restricción y la cantidad de vapor que se ahorró para cada pozo.

Puede notarse en la Tabla 2 que es posible ahorrar una mayor cantidad de vapor en un pozo unifásico, ya que en estos casos es posible reducir su orificio casi en su totalidad. Así, el programa de Ahorro de Vapor permitió dejar de descargar a la atmósfera un total de 233 t/h en 2009, 125 t/h en 2010, 226 t/h en 2011 y un máximo de 456 t/h en el año 2012.

La Tabla 3 muestra los beneficios económicos obtenidos durante los cuatro años de aplicación del programa de Ahorro de Vapor en el campo de Los Azufres.

Unidad	Año	Tiempo Ahorrado Días	Pozo	Qv Descargado Normal (toneladas)	Qv Descargado Total (toneladas)	Costo \$ Qv Descargado	Costo \$ Qv Descargado por año	Qv Restricción (toneladas)	Qv Restricción Total (toneladas)	Qv Ahorrado (toneladas)	% Qv Ahorrado	Qv Ahorrado en el año	Costo \$ Qv Ahorrado	Costo \$ Qv Ahorrado en el año
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
7	2009	36	Az-06	25920	266424	\$441,676.80	\$4,605,948.96	8640	39456	17280	67	226968	\$294,451.20	\$3,933,618.72
		36	Az-16AD	14688		\$250,283.52		6912		7776	53		\$132,503.04	
		37	Az-33	28416		\$484,208.64		0		28416	100		\$484,208.64	
		36	Az-36	13824		\$235,560.96		0		13824	100		\$235,560.96	
		37	Az-37	23088		\$393,419.52		7104		15984	69		\$272,367.36	
		35	Az-38	66360		\$1,130,774.40		16800		49560	75		\$844,502.40	
		36	Az-46	35424		\$603,624.96		0		35424	100		\$603,624.96	
16		92	Az-067	50784		\$923,760.96		0		50784	100		\$923,760.96	
		22	Az-057	7920		\$142,639.20		0		7920	100		\$142,639.20	
15	2010	24	Az-028	42048	119616	\$764,853.12	\$2,201,191.44	23040	52848	19008	45	66768	\$345,755.52	\$1,231,746.72
		21	Az-030	6552		\$119,180.88		3528		3024	46		\$55,006.56	
		23	Az-065D	22080		\$401,635.20		11040		11040	50		\$200,817.60	
		24	Az-066D	24768		\$450,529.92		7488		17280	70		\$314,323.20	
9		19	Az-043	24168	177360	\$464,992.32	\$3,406,974.72	7752	59448	16416	68	117912	\$315,843.84	\$2,271,304.80
14	2011	9	Az-019	14688		\$312,560.64		4104		10584	72		\$225,227.52	
		24	Az-048	27648		\$556,554.24		6912		20736	75		\$417,415.68	
		24	Az-051	26496		\$533,364.48		15552		10944	41		\$220,302.72	
13		31	Az-22	72912	177360	\$1,191,382.08		23808		49104	67	117912	\$802,359.36	
2		19	Az-017	15960		\$364,366.80		0		15960	100		\$364,366.80	
		21	Az-034	19656		\$448,746.48		9072		10584	54		\$241,632.72	
13		79	Az-06	49296	793248	\$1,272,822.72	\$20,755,806.72	15168	251352	34128	69	541896	\$881,184.96	\$14,170,985.28
		78	Az-016AD	31824		\$821,695.68		14976		16848	53		\$435,015.36	
		64	Az-033	50688		\$1,325,998.08		18432		32256	64		\$843,816.96	
		76	Az-037	40128		\$1,051,353.60		14592		25536	64		\$669,043.20	
		77	Az-038	133056		\$3,435,505.92		35112		97944	74		\$2,528,914.08	
6		78	Az-046	71136	793248	\$1,836,731.52		24336		46800	66	541896	\$1,208,376.00	
4		50	Az-18	68400		\$1,805,760.00		10800		57600	84		\$1,520,640.00	
		10	Az-013	16560		\$403,732.80		2400		14160	86		\$345,220.80	
7	2012	45	Az-01A	38880		\$1,036,152.00		23760		15120	39		\$402,948.00	
		45	Az-06	24840		\$657,763.20		7560		17280	70		\$457,574.40	
		40	Az-016AD	17280		\$457,574.40		7680		9600	56		\$254,208.00	
		44	Az-033	29568		\$782,960.64		9504		20064	68		\$531,294.72	
		44	Az-035	36960		\$978,700.80		8448		28512	77		\$754,997.76	
		43	Az-037	25800		\$683,184.00		7224		18576	72		\$491,892.48	
		44	Az-038	80256		\$2,125,178.88		21120		59136	74		\$1,565,921.28	
		42	Az-046	37296		\$987,598.08		10080		27216	73		\$720,679.68	
		40	Az-09A	41280		\$1,093,094.40		20160		21120	51		\$559,257.60	

Tabla 3. Beneficios económicos obtenidos con el programa de Ahorro de Vapor.

En esa tabla, la columna 5 muestra la cantidad de vapor (Qv) en toneladas que normalmente se habría descargado a la atmósfera a través del silenciador para cada pozo, de no haberse aplicado el programa, y la columna 6 la suma anual de esas descargas. La Figura 4 presenta de manera gráfica las cantidades de vapor en toneladas que cada año se habrían descargado a la atmósfera de no haberse aplicado el programa (en color azul), la cantidad que realmente se descargó gracias a la aplicación del programa (color café) y la cantidad de vapor que se ahorró y se conservó dentro del yacimiento (color verde).

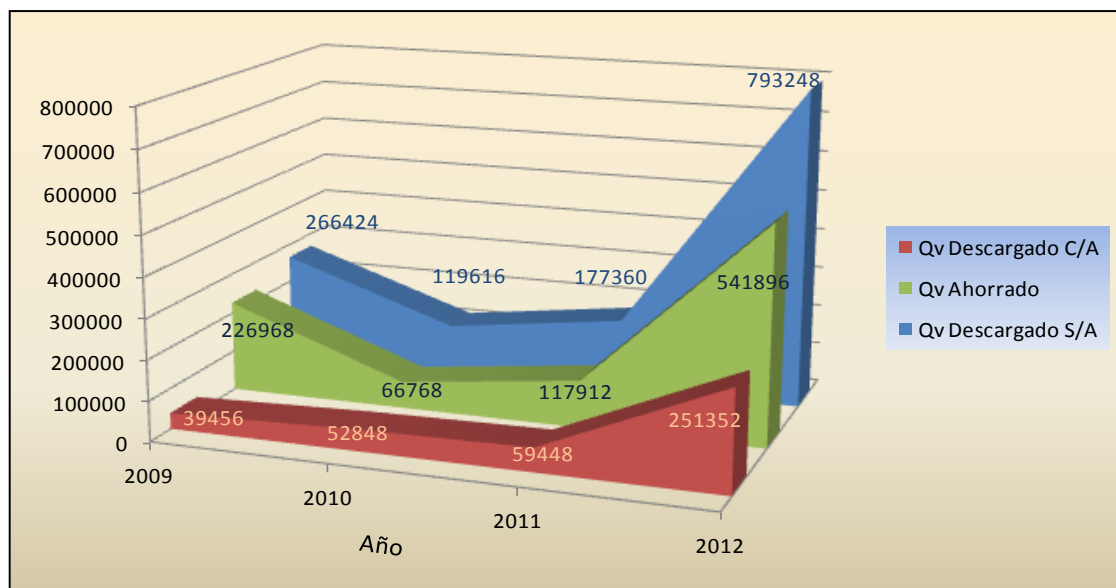


Fig. 4. Vapor ahorrado y descargado realmente a la atmósfera, y vapor que se habría descargado sin la aplicación del programa, en cada año. (Cifras en toneladas)

Durante los cuatro años en los que se ha aplicado el programa de Ahorro de Vapor, se habrían descargado a la atmósfera un total de 1,356,648 toneladas de vapor, que es la suma de los valores anuales graficados en color azul en la Fig. 4 y reportados en la columna 6 de la Tabla 3. Pero como producto de la aplicación del programa, se descargaron realmente a la atmósfera sólo 403,104 toneladas, que es la suma de las cifras anuales indicadas en color café en la Figura 4 y en la columna 10 de la Tabla 3, y se dejaron en el yacimiento 953,544 toneladas de vapor (suma de los valores anuales en color verde de la Figura 4 y de la columna 13 de la Tabla 3). Así en estos cuatro años, se logró ahorrar un 70.3% del vapor que, de no haberse aplicado el programa, se habría descargado a la atmósfera sin ningún uso.

En cuanto a costos, la séptima columna de la Tabla 3 estima el costo del vapor que se habría descargado a la atmósfera en cada pozo por año de no haberse aplicado el programa, y la columna ocho la suma anual de todos. La suma de las cifras de la columna 8 es de casi 31 millones de pesos (30,969,924.84), que es el costo total del vapor que se habría descargado en esos cuatro años. La columna 14, por su parte, muestra el costo del vapor efectivamente ahorrado en cada pozo por año gracias a la implementación del programa de Ahorro de Vapor, mientras que la columna 15 presenta la suma anual de esos costos. La Figura 5 muestra las cifras de ahorro anual en forma gráfica, concluyéndose que en los últimos cuatro años se ahorró un poco más de

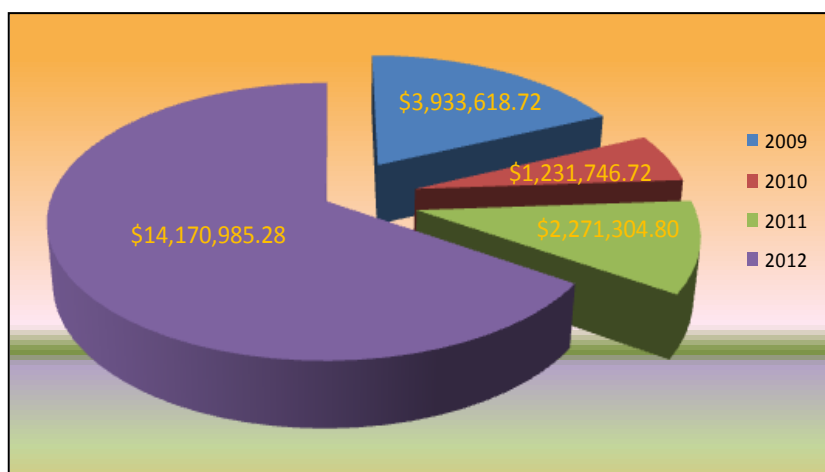


Fig. 5. Ahorro en pesos debido al vapor no descargado a la atmósfera en los últimos cuatro años.

21 millones y medio de pesos (21,607,655.52) debido al vapor que no se descargó a la atmósfera. Por supuesto, esta cifra también representa el 70.3% del costo total del vapor que se habría desperdiciado en la atmósfera.

Finalmente, la columna 12 de la Tabla 3 presenta el porcentaje de vapor ahorrado en cada pozo gracias al programa de Ahorro de Vapor, que es simplemente el resultado de dividir el vapor efectivamente ahorrado o no descargado (columna 11) entre el vapor que se habría descargado (columna 5). Los porcentajes se han graficado en la Figura 6, pudiendo observarse que fluctúan entre un 31 y un 100%.

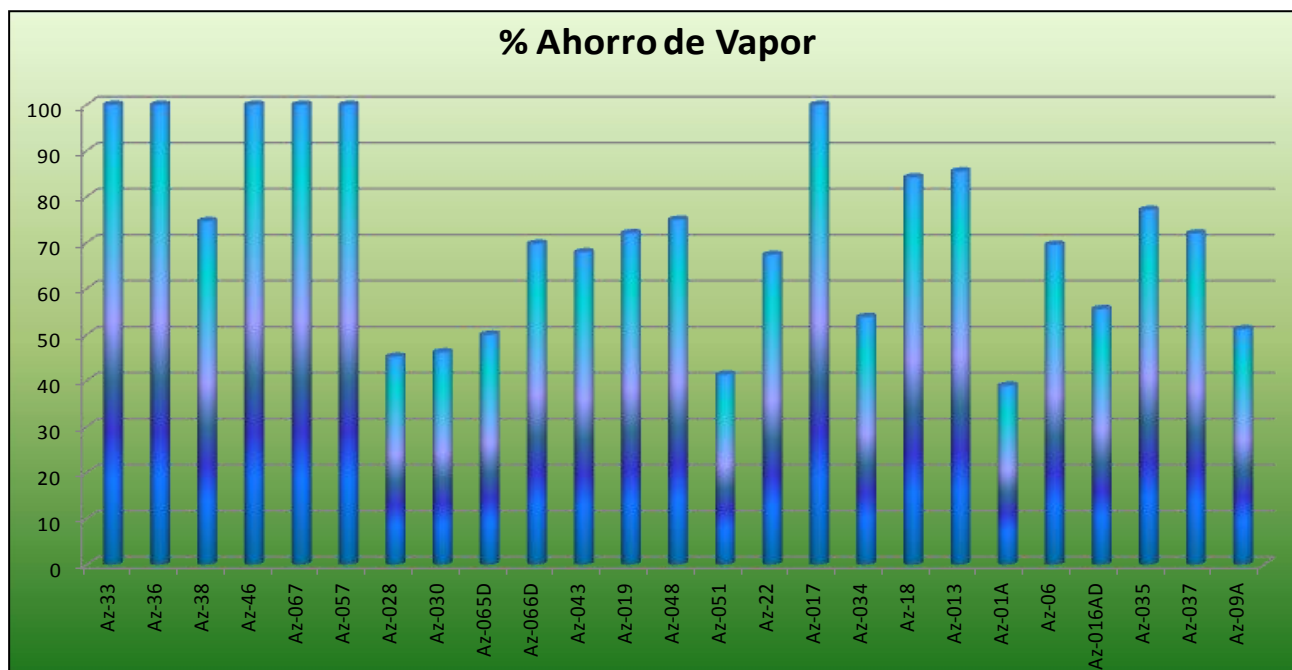


Fig. 6. Porcentaje de ahorro de vapor por pozo.

Cabe comentar que además del vapor no descargado a la atmósfera, el programa de Ahorro de Vapor también ha representado otros beneficios técnicos. Así, algunos pozos mejoran ligeramente su presión de cabezal y su producción después del periodo en el que se les coloca una placa con orificio reducido, lo que parece ser una positiva respuesta del yacimiento. En la Figura 7 se presenta como ejemplo el caso del pozo Az-06.

## 6. Conclusiones

Las medidas adoptadas en los últimos años para lograr un manejo más racional y sustentable del recurso geotérmico en el campo de Los Azufres, mediante la operación de los pozos integrados al sistema de suministro en condiciones óptimas sin dejar de cumplir con la entrega de vapor, han tenido como resultado:

- La disminución de la tasa de abatimiento anual de la presión del yacimiento. En el año 2007 se calculó que la presión del yacimiento declinaba a una tasa anual del 3.71% y, ahora se ha logrado disminuir este abatimiento al 1.17% anual (ver Figura 8).

- La disminución en la tasa de declinación de la producción total del campo. En 2007 se calculó un pico en la declinación de la producción del campo cercano al 9% anual. Ahora, en diciembre de 2012 se calculó que tal declinación se había reducido a un 2.78% anual (ver Figura 8).

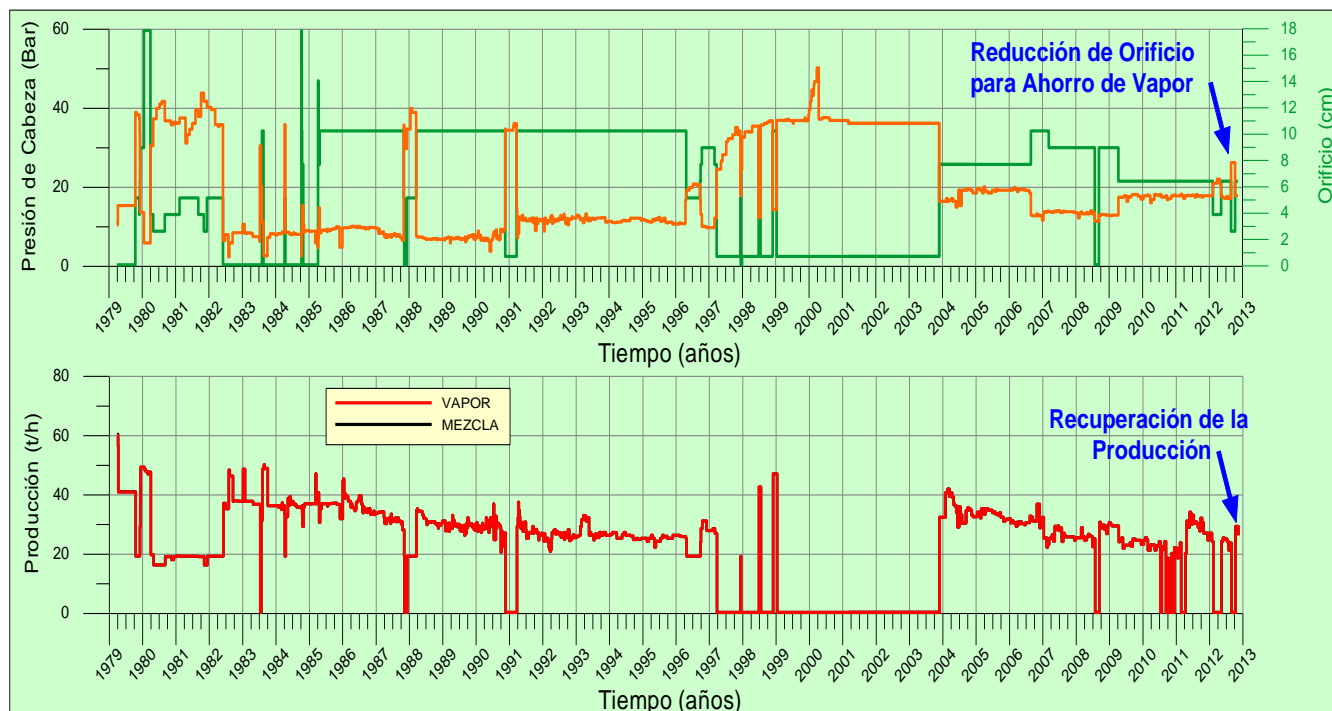


Fig. 7. Presión de cabezal y producción del pozo Az-06.

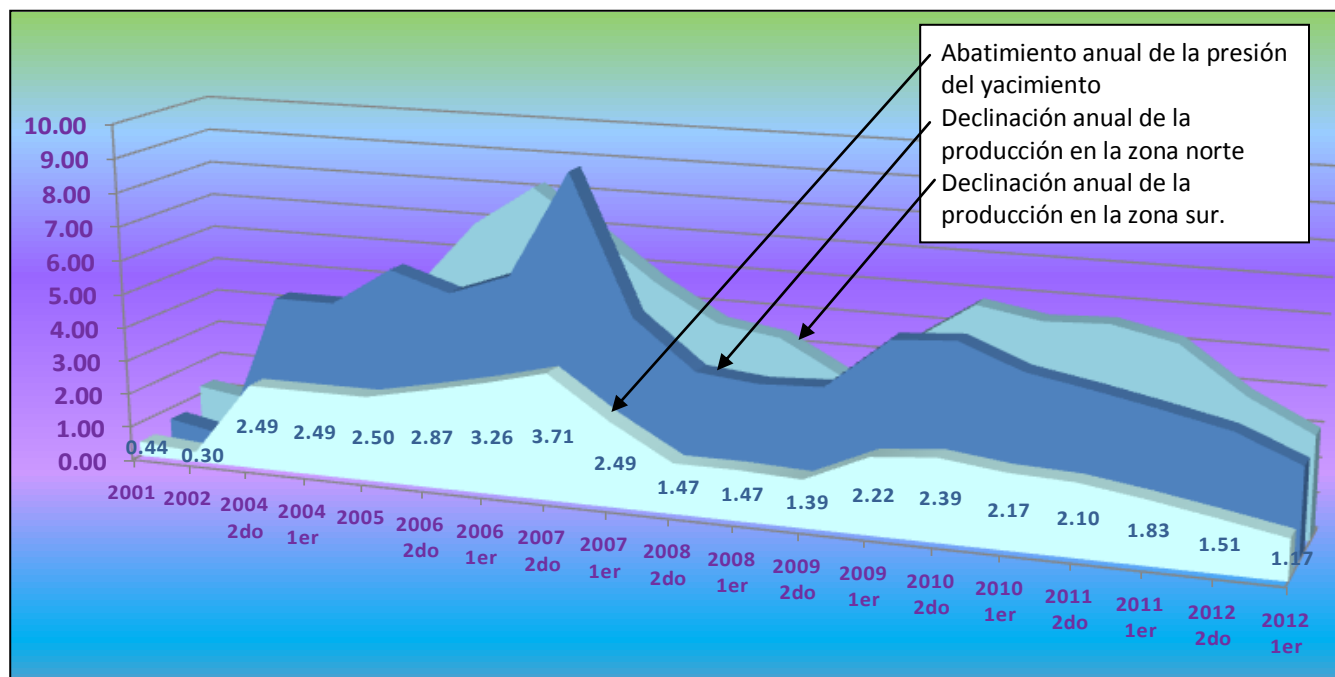


Fig. 8. Abatimiento anual de la presión del yacimiento y declinación anual de la producción en la zona norte y en la zona sur del campo de Los Azufres.

El programa de Ahorro de Vapor iniciado en 2009, que consiste en reducir el diámetro del orificio de la placa de producción de pozos seleccionados que suministran vapor a unidades que saldrán a mantenimiento, ha permitido conservar dentro del yacimiento más de 950 mil toneladas de vapor entre 2009 y 2012, que de otra manera se habrían descargado a la atmósfera sin ningún aprovechamiento. Esta cantidad representa un beneficio de más de 21.6 millones de pesos, que es el costo del vapor que se ha ahorrado.

De esta manera, el campo geotérmico de Los Azufres sigue respondiendo favorablemente a la explotación después de 30 años de operación comercial continua. A la fecha se ha logrado que el campo se recupere de la fuerte declinación en la presión del yacimiento y en su producción que experimentó en 2003 cuando entraron en operación las últimas cuatro unidades de 25 MW. Los resultados obtenidos con las estrategias utilizadas hasta el momento indican un aprovechamiento, administración y uso sustentable del recurso geotérmico.

### **Bibliografía**

- CFE, 2010. Costo del vapor de acuerdo a la metodología de la Unidades Estratégicas de Negocio (UEN). Documento interno, CFE. Inédito.
- Vulcan GDManager, Base de datos. “*Geothermal Resource Data Management*”, *Version 4.4.10 built 6*, CFE.
- Medina, E., y A. Sandoval, 2012. Análisis de la Declinación de la Producción de los Pozos. Informe interno O-2159-019-R-03, Residencia de Los Azufres, CFE. Inédito.
- Medina, E., y A. Sandoval, **2011**. Acciones técnico-operativas para una administración sustentable del yacimiento. Memorias de la V Reunión Interna de Mejora Continua, CFE. Inédito.