

Herramienta computacional para el manejo de las historias de producción

Adriana Paredes Soberanes y Alfonso Aragón Aguilar

Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, Reforma 113, Col. Palmira, Cuernavaca Morelos, México, CP 62490. Correo: aparedes@iie.org.mx

RESUMEN

La declinación de la productividad en los yacimientos geotérmicos es una de las características asociadas a los efectos de la explotación continua. El ritmo de producción y las características petrofísicas de la formación son algunas de las variables de influencia en este proceso de los sistemas de explotación. Es recomendable que durante la etapa de vida operativa de los pozos se mantenga un registro continuo, a condiciones de superficie, de los parámetros asociados a la producción, tales como flujo de vapor, flujo de agua, presión de cabezal, diámetro del orificio de producción, etc., así como un muestreo químico periódico del fluido producido. Una de las características del sistema de cómputo ANAGEOT es la facilidad de procesamiento y graficación de las historias de producción de los pozos. Es factible combinar grupos de pozos para caracterizar un área y hasta campos completos. Usando ANAGEOT se pueden obtener valores iniciales, por períodos parciales o por toda la etapa operativa de los pozos, de un área o de un campo. A través de la visualización gráfica de los parámetros de producción se pueden determinar tendencias históricas y estimar tendencias futuras a corto plazo.

Palabras clave: Yacimiento geotérmico, sistema de cómputo, software interactivo, herramienta computacional, procesamiento de información, pozos geotérmicos.

Computing tool for handling production data

ABSTRACT

The decline of productivity in geothermal reservoirs is one of the characteristics associated with the effects of continuous exploitation. The production mass flow *rate* and the petrophysical characteristics of the rock formation are some of the variables of influence in this process of the systems under exploitation. It is recommended that during the operational life stage of the wells a continuous record, at surface conditions, of the parameters associated with the production, such as steam flow, water flow, head pressure, diameter of the production orifice, etc., as well as periodic chemical sampling of the fluid produced. One of the characteristics of the computer system ANAGEOT is the ease of processing and graphing the production histories of the wells. It is feasible to combine groups of wells to characterize an area and even complete fields. Using ANAGEOT, initial values can be obtained, for partial periods or for the entire stage of the wells, of an area or a field. Graphical visualization of production parameters can determine historical trends and estimate future trends in the short term.

Keywords: Geothermal reservoir, computing system, inter-active software, computing tool, information processing, geothermal wells.

1. INTRODUCCIÓN

Un sistema computacional es una herramienta (conjunto de programas, reglas, procedimientos, base de datos, manual de usuario) que resulta de mucha utilidad en el manejo de grandes cantidades de información. Igualmente se utiliza para la ejecutar automáticamente procesos que con cierta periodicidad se llevan a cabo con la finalidad de obtener información precisa para su posterior análisis

e interpretación. Un sistema computacional permite la optimización de recursos y tiempos al facilitar la administración de la información, aligerando los tiempos de respuesta y contribuyendo de manera positiva en el enfoque de los recursos y esfuerzos. Su aplicación permite análisis transcendental de resultados, así como la ejecución de tareas que en sí mismas resultan complejas, rutinarias y cuya ejecución conlleva una alta probabilidad de cometer errores.

El análisis de los datos de producción de los pozos es una herramienta muy valiosa para estudiar el comportamiento de campos geotérmicos en explotación, permitiendo analizar de distintas formas los datos mediante representaciones gráficas y tabulares.

2. ANTECEDENTES

ANAGEOT es una herramienta multidisciplinaria e interactiva eficaz para la integración y apoyo en el estudio y análisis del comportamiento de los yacimientos geotérmicos (Paredes et al., 2015). La funcionalidad práctica de ANAGEOT se encuentra en el procesamiento de información de la producción de pozos de algunos yacimientos en explotación en México.

En el presente trabajo se describe la funcionalidad de ANAGEOT sobre los datos de la historia de producción. Igualmente se menciona su contribución en el manejo e interpretación de datos en los distintos campos geotérmicos de México, en los que se han realizado análisis mediante la representación gráfica y tabular de la información.

3. ANÁLISIS

ANAGEOT se desarrolló en la Gerencia de Geotermia del INEEL (Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias), mediante el concurso de distintas metodologías de análisis, aplicables principalmente en la etapa de producción de los campos geotérmicos. El objetivo de ANAGEOT consistió en crear una herramienta para automatizar la generación de resultados mediante gráficas y tablas, de las condiciones termodinámicas e historia de producción de los pozos. Para la graficación se utiliza *Golden Grapher®*, vinculado con las tablas que el programa exporta a Microsoft Excel. Para la emisión de reportes, ANAGEOT se vincula con Word. El programa maneja datos de presión, temperatura, entalpía, flujo y calidad de la mezcla, los cuales pueden referirse a condiciones de superficie o a condiciones de fondo del yacimiento.

El análisis también incluye mediciones de datos históricos y cambios en la producción a través del tiempo. A continuación se muestran las distintas formas de representar datos de producción.

3.1. Historia de la producción

El programa cuenta con un módulo para representación gráfica de la historia completa de producción de un pozo geotérmico, así como para la representación tabular de la producción total, de vapor y/o líquido. Esto se puede hacer de manera individual, por pozo, o involucrando a un grupo de pozos de una zona, o bien de todo un campo completo. Igualmente, el programa permite hacer análisis de sus tendencias, en todos los casos. En la Figura 1 (todas las figuras al final del texto) se muestra un ejemplo de la información histórica de la producción de líquido de un pozo, con tres ajustes lineales para analizar el comportamiento de los cambios en su historia de producción. La Tabla 1 presenta resultados de análisis de tendencias de la producción que el programa ANAGEOT puede realizar.

Pozo	Líquido		Vapor		Mezcla		Periodo	
	(ton/hr)/año		(ton/hr)año		(ton/hr)/año			
	Lineal	Armónica	Lineal	Armónica	Lineal	Armónica		
1	0.276	0.246	2.977	2.886	3.253	3.132	Jun 1991 - Dic 1994	
2	-0.945	-0.347	-1.679	0.26	-2.624	-0.087	Ene 1995 - Dic 1999	
3	-0.825	-0.899	4.18	3.839	3.355	2.94	Ene 2004 - Dic 2007	
Total	-0.27	-0.3	1.39	1.28	1.12	0.98		

Tabla 1. Resultados que puede presentar ANAGEOT al aplicarlo al procesamiento de la historia de producción de pozos individuales (pozos 1, 2, 3).

3.2. Análisis individual

La Figura 2 muestra un estudio de la producción por pozo, en el que se puede analizar información histórica de la producción relacionada con el diámetro de orificio de descarga. También es posible graficar el gasto inyectado en un pozo. En la Tabla 2 se muestra la historia anual de producción de líquido, vapor y total de un pozo, así como sus condiciones termodinámicas (presión y entalpía de fondo) promedio en cada año.

Pozo 1					
Año	Fluido producido			Promedio de condiciones termodinámicas	
	Líquido (ton)	Vapor (ton)	Mezcla (ton)	Presión de fondo (bar)	Entalpía de fondo (kJ/kg)
1982	483,486	190,275	673,761	62.8	1303.6
1983	555,345	254,507	809,852	56.7	1352.8
1984	445,444	198,321	643,765	58.6	1331.8
1985	479,051	285,712	764,763	52.6	1447.6
1986	494,477	305,728	800,205	35.6	1473.1
1987	418,509	208,680	627,189	30.9	1399.4
1988	405,069	244,355	649,424	35	1505.8
1989	261,788	149,405	411,193	43.6	1438.9
1990	145,399	107,837	253,236	28.4	1545.2
1991	69,515	55,892	125,407	25.9	1576.1
1992	138,279	111,771	250,050	24.5	1581.5
1993	132,794	113,326	246,120	23.3	1590.7
1994	00	00	00	14.6	1748.9
Promedio	335,763	185,484	521,247	37.9	1,484.3
Total	4,029,156	2,225,809	6,254,965		

Tabla 2. Representación tabular de la historia anual de producción del Pozo 1.

3.3. Análisis para un grupo de pozos

El análisis por grupo de pozos permite representar la producción de vapor, líquido y mezcla mediante una gráfica de barras, permitiendo visualizar el comportamiento por pozo del grupo seleccionado (ver Figura 3 y Tabla 3).

Pozo	Vapor (ton/año)	Líquido (ton/año)	Total (ton/año)
1	2,229,512	4,026,060	6,255,572
2	9,984,251	716,227	10,700,478
3	2,762,604	946,264	3,708,868
4	2,896,731	4,602,262	7,498,993
5	284,723	33,357	318,080
Promedio	3,631,564	2,064,834	5,696,398

Tabla 3. Resultados de la producción de un grupo de pozos.

3.4. Análisis aplicado a un campo

La información de un campo geotérmico completo permite evaluar su estado general y los cambios en la producción de fluido a través del tiempo, además de analizar aquellos pozos individuales que de manera global permitan mejorar la producción del campo. En la Figura 4 se muestra la representación tabular de la producción total (incluyendo líquido y vapor) de un campo geotérmico, expresado en toneladas, donde cada barra corresponde a la producción total de un pozo. En la Tabla 4, se despliega el promedio de la producción separada por pozo y por tipo de fluido (líquido, vapor y mezcla).

3.5. Por períodos parciales

ANAGEOT también permite realizar análisis de los cambios en la producción por pozo, por campo y por grupo de pozos durante ciertos períodos parciales, y presentarlos junto para su comparación. Así, en la Tabla 5 se muestran los cambios en la producción de líquido, vapor y mezcla de un pozo, para dos períodos determinados, utilizando dos tipos de ajustes (lineal y armónico).

3.6. Por períodos completos

El programa permite además generar reportes (documento en Excel) y gráficas de la producción y la inyección (por pozo, grupo de pozos y por campo). La Figura 5 presenta el promedio anual de fluido inyectado por un grupo de pozos.

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos ayudan a generar tablas y gráficas de apoyo para el análisis específico de un pozo determinado, de un grupo de pozos y de un campo geotérmico completo. La versatilidad del programa permite el procesamiento de una manera rápida, sencilla y confiable. El diseño produce una herramienta amigable que facilita el proceso de análisis e interpretación de los datos.

Pozo	Vapor (ton/año)	Líquido (ton/año)	Total (ton/año)
1	2,229,512	4,026,060	6,255,572
2	6,102,969	1,054,462	7,157,431
3	9,984,251	716,227	10,700,478
4	2,762,604	946,264	3,708,868
5	12,285,847	705,935	12,991,782
6	1,493,907	87,452	1,581,359
7	9,751,289	697,069	10,448,358
8	4,181,250	341,630	4,522,880
9	1,638,900	445,906	2,084,806
10	3,098,784	190,123	3,288,907
11	4,145,485	509,101	4,654,586
12	2,896,731	4,602,262	7,498,993
13	7,286,703	450,214	7,736,917
14	3,781,065	304,105	4,085,170
15	5,760,409	401,361	6,161,770
16	5,033,984	524,038	5,558,022
17	1,527,623	107,518	1,635,141
18	654,873	55,783	710,656
19	4,723,910	281,719	5,005,629
20	256,082	15,562	271,644
21	3,566,251	1,099,412	4,665,663
22	2,606,005	627,961	3,233,966
23	872,347	138,930	1,011,277
24	349,045	28,651	377,696
25	98,112	16,352	114,464
26	272,230	31,371	303,601
27	284,723	33,357	318,080
Promedio		3,487,318	658,529
			4,145,847

Tabla 4. Representación tabular de la producción total de un campo a lo largo de un año.

Pozo	Líquido		Vapor		Mezcla		Periodo	
	(ton/hr)/año		(ton/hr)año		(ton/hr)año			
	Lineal	Armónica	Lineal	Armónica	Lineal	Armónica		
2	-2.355	-	-0.542	-	-2.897	-		
2	-3.094	-	-0.62	-	-3.714	-		
Total	-2.75	0	-0.584	0	-3.334	0	Ene 1984 - Feb 1994	

Tabla 5. Cambios en la producción de líquido, vapor y mezcla para un mismo pozo en dos períodos diferentes.

Las tablas y gráficas se generan con el uso de una metodología ya aplicada con anterioridad por

investigadores de la Gerencia de Geotermia del INEEL, lo que ha permitido corroborar resultados con los que ya se habían obtenido previamente pero de una manera más elaborada, empleando bastantes recursos (humanos y tiempo) para llegar a los mismos resultados.

5. CONCLUSIONES

El Sistema computacional ANAGEOT ha traído muchos beneficios a la Gerencia de Geotermia del INEEL, específicamente en el análisis de la producción geotérmica, ya que ha permitido automatizar y analizar de una manera más sencilla y rápida las tendencias de la producción de los pozos. Ha ayudado en la evaluación del diagnóstico sobre el estado general de un pozo, de una zona y de un campo geotérmico completo. Esto ha sustentado el análisis de la información para prever cambios de escenarios y tomar decisiones que ayudan a extender la vida útil de los pozos y del campo.

Bibliografía:

- Arellano, V. M., Torres, M.A., Barragán R.M., Sandoval F. and Lozada F., 2003. Chemical, Isotopic and Production Well Data Analysis for the Los Azufres (Mexico) Geothermal Field". *Geothermal Resources Council Transactions*, **27**, 275-279.
- Arellano, V.M., Torres, M.A., and Barragán, R.M., 2005. Thermodynamic Evolution of the Los Azufres, Mexico, Geothermal Reservoir from 1982 to 2002. *Geothermics*, **34**, 592-616.
- Arellano V.M., Barragán, R.M., Aragón. A., Rodríguez, M.H., Pérez. A., 2011. The Cerro Prieto IV (Mexico) geothermal reservoir: Pre-exploitation thermodynamic conditions and main processes related to exploitation (2000-2005). *Geothermics*, **40**, (3), 190-198.
- Arellano, V.M., Barragán, R.M., López, S., Paredes, A., Aragón, A., 2012. Respuesta del Yacimiento de Los Azufres a la Explotación 2003-2011. Informe, IIE/11/14283/02F, Instituto de Investigaciones Eléctricas para la Comisión Federal de Electricidad, Cuernavaca, Morelos, México, 303 p. Inédito.
- Arellano, V.M., Barragán, R.M., López, S., Paredes, A., Aragón, A., 2013. Respuesta del Yacimiento de Los Humeros a la Explotación 2007-2012. Informe, IIE/11/14531/02F, Instituto de Investigaciones Eléctricas para la Comisión Federal de Electricidad, Cuernavaca, Morelos, México, 229 p. Inédito.
- Arellano, V.M., R.M. Barragán, S. López, A. Paredes, A. Aragón, 2013. Respuesta del yacimiento de Las Tres Vírgenes a la explotación 2007-2012. Informe final IIE/11/14530/I 01/F para la Comisión Federal de Electricidad, 78 p. Inédito.
- Arnórsson, S., and D'Amore, F., 2000. Monitoring of reservoir response to production. En: (Arnórsson S., ed.) *Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use*, International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 309-351.
- Barragán, R.M., Arellano, V.M., Portugal, E., and Sandoval, F., 2005. Isotopic ($\delta^{18}\text{O}$, δD) patterns in Los Azufres (Mexico) geothermal fluids related to reservoir exploitation. *Geothermics*, **34**, 527-547.
- Fetkovich, M.J., 1980. Decline curve analysis using type curves. *Journal of Petroleum Technology*, **32** (6), 1065-1077.
- Paredes, A., Arellano, V.M., Barragán, R.M., Aragón, A. y López, S., 2015. ANAGEOT: Sistema auxiliar en el análisis de datos químicos, isotópicos y de producción. *Geotermia* Vol. 28, Núm. 2. 34-45.

- Paredes, A., Aragón, A., Arellano, V.M., Barragán, R.M., and López, S., 2016. Auxiliary System for Chemical and Production Data Analysis: ANAGEOT. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, **3**, 161-166
- Sanyal, S.K., Menzies, A.J., Brown, P.J., Enedy, K.L., and Enedy, S., 1989. A systematic approach to decline curve analysis for the Geysers steam field, California. *Geothermal Resources Council, Transactions*, **13**, 415-421.
- Truesdell, A.H., 1991. Effects of physical processes on geothermal fluids. En: (F. D'Amore, ed.). *Application of geochemistry in geothermal reservoir development*. UNITAR/UNDP Centre on small energy resources, Rome, pp. 71-92.

FIGURAS

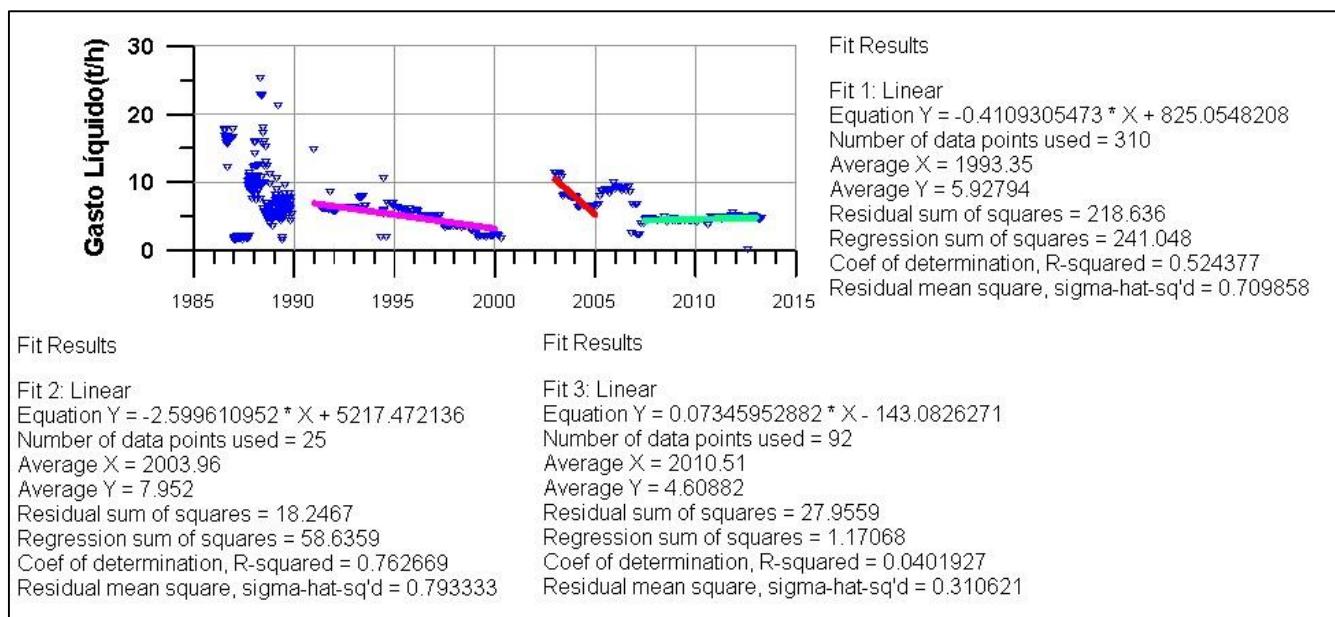


Figura 1. Gráfica con la producción histórica de líquido de un pozo y ajuste lineal en distintos períodos.

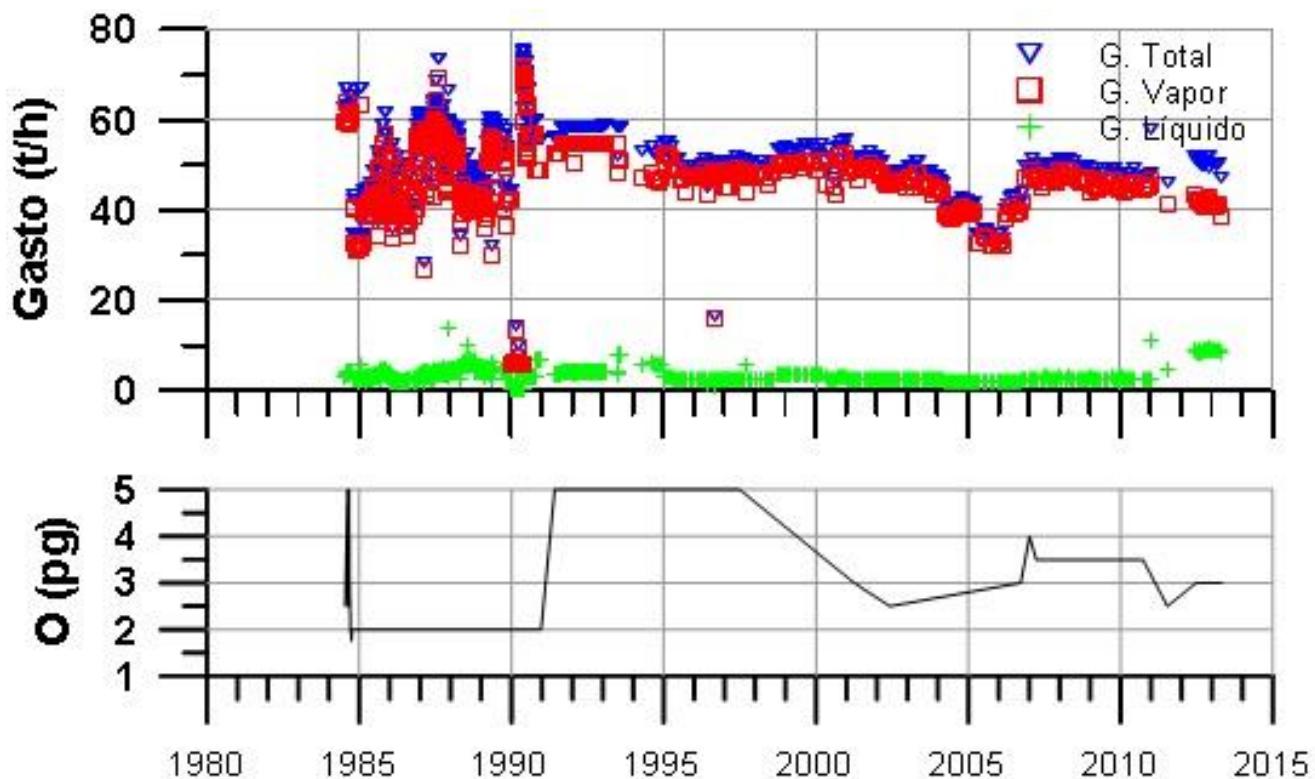


Figura 2. Representación gráfica de la producción del Pozo 2, usando ANAGEOT.

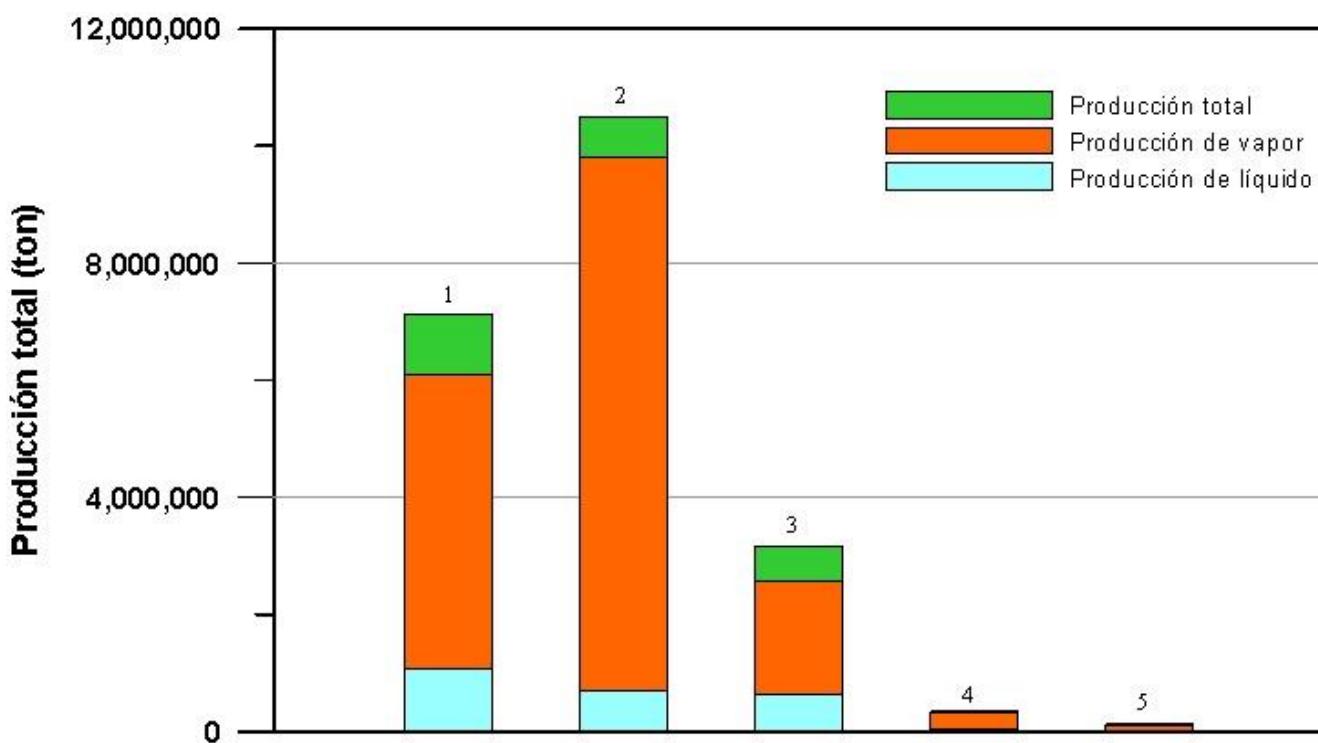


Figura 3. Gráfica tabular con información de la producción histórica total de cinco pozos.

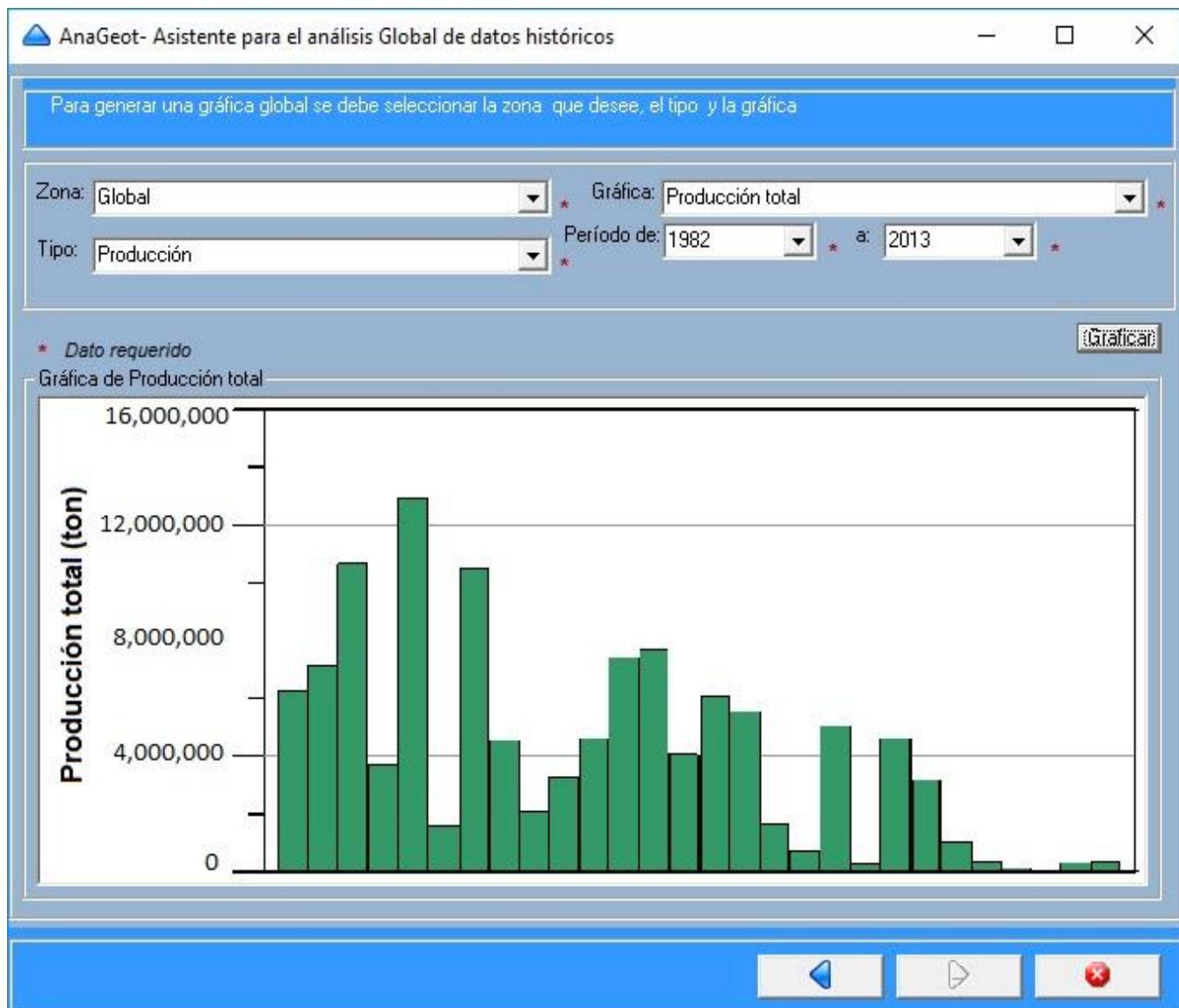


Figura 4. Producción total de un campo geotérmico.

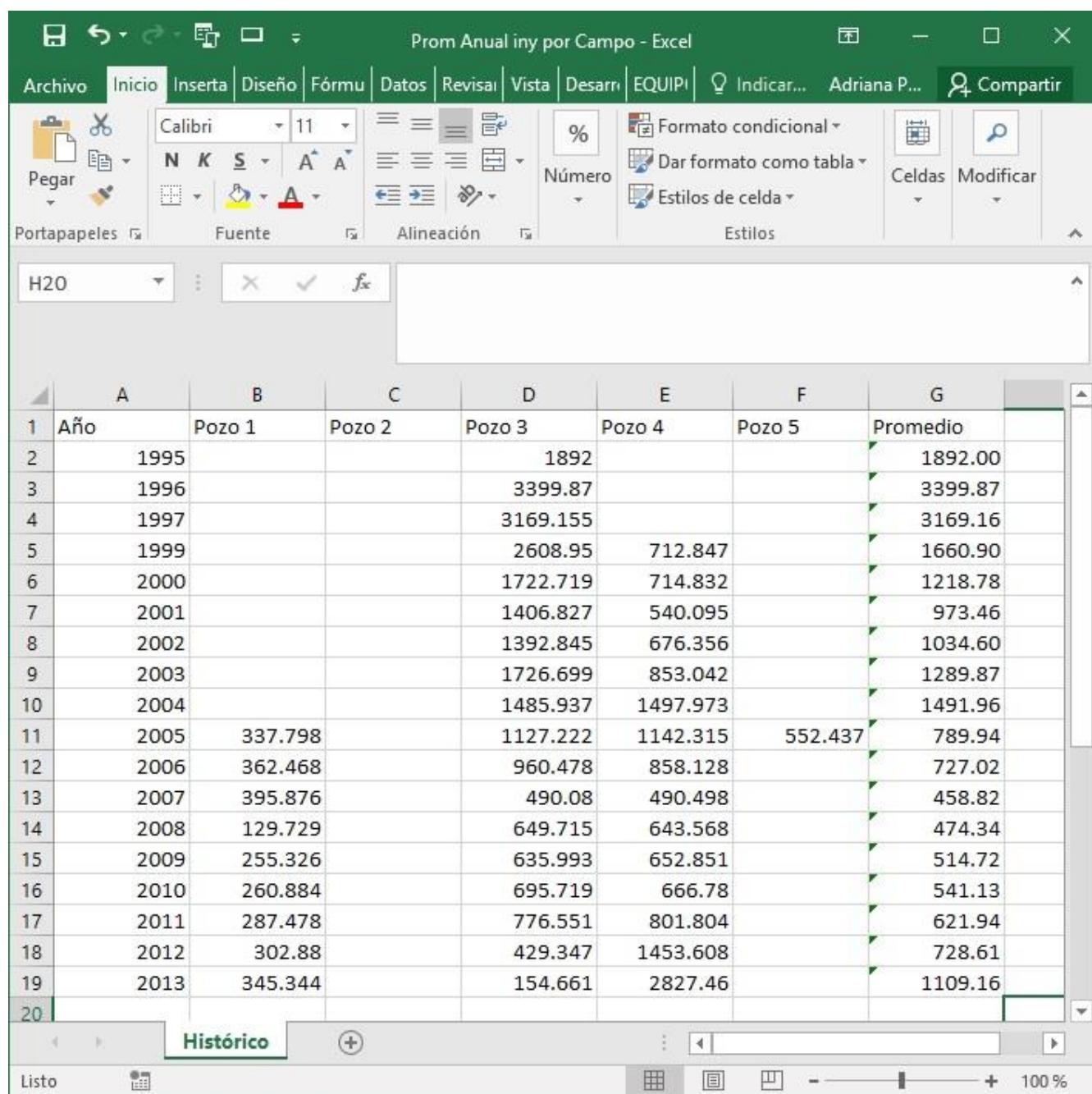


Figura 5. Promedio anual de inyección para un grupo de cinco pozos.