

ELECTRIFICACION DEL NORTE CON ENERGIA DEL TATIO CHILENO

Comento a continuación los trabajos de los señores Dr. Ing. E. Tocchi, Dr. Prof. I. Brüggén, Dr. Prof. W. Zeil, Dr. Ing. N. Gennai.

Los distintos relatos que tenemos a disposición, a propósito del Tatio, no están perfectamente de acuerdo y podrían generar dudas sobre las posibilidades de explotación geotérmica. Sin embargo un hecho es inequívoco. El ingeniero Ettore Tocchi tenía una profunda experiencia geológica, especialmente en el campo geotérmico. Durante muchos años él dirigió perforaciones y encauzó chorros de vapor volcánicos en la zona de Larderello y había también sondeado en la Ollada de los geysers del Tatio.

En su relato, Tocchi es optimista y no tiene duda acerca de las posibilidades de llegar, por medio de sondajes, a encauzar el vapor necesario para una utilización industrial. Este relato, escrito en 1923, fue entregado a la Sociedad p. A. Larderello y no se publicó, considerándose exclusivamente reservado.

Ahora está en nuestras manos una copia, que nos fue facilitada por la dirección de la Sociedad Larderello. El geólogo prof. Brüggén publicó un artículo en 1942, en la Revista Chilena de Historia y Geografía. Se demuestra preocupado y titubeante por el fenómeno de las intermitencias de los geysers.

Es mi opinión que el señor Brüggén consideraba con demasiada importancia las manifestaciones de superficie, que representan únicamente una pérdida y un escape de la gran Caldera Plutónica. El Larderello confirma ésta mi opinión.

Además, el prof. Brüggén demostraba no tener informes exactos relativos al fenómeno geotérmico de la zona Larderello (Italia), tanto que escribió en 1942 que "según el informe, habría en Larderello (Italia) una planta de 10.000 KW", en tanto que en 1940 se producía en Larderello energía con seis plantas geotérmicas por una potencia de 126.800 KW.

El señor Brüggén consideró equivocada la investigación del Ingeniero Tocchi (a base de informes recibidos) porque el caudal del agua que sale de la Ollada de los Geysers se compone del 95% de agua proveniente de filtraciones superficiales. ¿Y de dónde proviene, entonces, el calor que calienta esta agua, sino del Plutón alimentador del Tatio? Es la energía térmica lo que nos interesa y no la cantidad de agua en la superficie.

Pero el señor Brüggén prudentemente concluye textualmente: "Es todavía posible que al bajar de 200-300 mts. con sondaje se pueda obtener mayor cantidad de vapor y de más alta temperatura". Y así será, pero convendría perforar lejos de las manifestaciones de superficie y lejos de las pérdidas de la Caldera Plutónica. Un geólogo especializado en geotérmica debería indicar donde se podrá encontrar un techo favo-

II y final

por el Prof. Ing. ANGELO FILIPPONI

rable bajo el cual encontrar acumulación de vapor. Después se perforará y se podrá realizar la transformación de la energía geotérmica.

El geólogo Zeil considera pequeña la zona del Tatio y la compara con otras similares existente en Islandia, Nueva Zelanda, etc. En realidad, en Chile hay abundancia de energía geotérmica desde el Norte a la Antártica. Las manifestaciones superficiales, repito, tienen poco valor práctico y, por lo que me resulta, según mi experiencia, la zona geotérmica efectiva es mucho más grande que la zona en que se manifiestan las fumarolas y los geysers.

El señor Zeil manifiesta sus dudas sobre una explotación práctica y declaró por escrito al Director del I.D.I.E.M. que debería ser consultado un "experto reconocido" y si fuera posible uno del Larderello, respecto de este problema. Además, consideró factores que pertenecen a otra especialidad, como la distancia de los centros habitados para una posible utilización, olvidando que el ferrocarril Antofagasta-La Paz pasa a pocos kilómetros; que Chuquicamata está a 75 Kmts. de distancia y que también hay un camino bastante bueno y mejorable que une San Pedro del Norte con San Pedro de Atacama. Al geólogo señor Zeil le preocupa la gran altura como obstáculo a la transmisión de la energía eléctrica. Todo esto, sin embargo, es tarea de un ingeniero especializado en transformación de energía y no de un geólogo. Estoy de acuerdo con el señor Zeil cuando declara que se necesita la intervención de un geólogo experto de Larderello (*desde 1952 estamos repitiéndolo*) y que se tenga preparada una investigación geofísica sobre la condición del subsuelo para individualizar dónde se puede encontrar un techo favorable para una perforación. Naturalmente, después hay que estudiar la manera más técnica y económica para la transformación de la energía geotérmica, y en este momento entrará en función otro grupo de especialistas termólogos, mecánicos y electricistas que trabajarán en equipos para solucionar el problema industrial.

Por el momento, el geólogo especializado de Larderello, deberá precisar la diagnosis e indicar la zona y los puntos de mejor alcance para las perforaciones. Si la diagnosis fuera negativa, tenemos aún otra posibilidad para solucionar el problema, utilizando el contenido térmico del agua, que brota de la entraña de la tierra, para calentar un intermediario que pueda evaporizarse a baja temperatura. En la Isla de Ischia (Nápoles), repito, hay una planta que funciona de esta manera.

Vale la pena investigar y no abandonar el problema. "La ollada de los geysers está situada morfológicamente en una zona de hundimiento que se extiende de Norte a Sur desde el Salar de Ascotán hasta el Salar de Atacama. Las cumbres más altas de la cordillera se



Control de la presión del vapor endógeno, 22 de julio 1960



Otros controles en la misma fecha



Fumarola captada en julio último en investigaciones del IDIEM de la U. de Ch.

elevan al Este de la ollada y por lo tanto el desagüe corre de Este a Oeste. Dentro de la Zona de los geysers nace la mayoría de los manantiales del río Salado, y las aguas de estos manantiales son vadosas y se calientan por el efecto geotérmico" (Zeil).

"Los volcanes en el Este de la zona de los geysers

son juveniles y estaban en actividad desde la formación terciaria entre el plioceno y el aluvio" (Zeil). Estos son del Sur al Norte: volcán Tatio, cerros del Tatio, cerro El Volcán. Las rocas de estos volcanes son en general porfíricas hemicristalinas y de naturaleza andesítica.

Al Oeste se presentan rocas de otra clase relativas al Ojo de Gabler, Cerro Copacoya, Loma Crucero, Lono Chorro. Se trata de rocas emanadas de grietas lineales en su mayoría lipiritas.

"El aplanamiento de la zona de los geysers es, con mucha probabilidad, de origen tectónico y podría ser un recorte de una de las grandes zonas de fosos extendidos del Sur al Norte en orogeno Andino" (Zeil). El geólogo Zeil, estudiando los diferentes procesos post-volcánicos, en la zona de geysers contó en total en septiembre de 1956:

40 geysers, los más grandes con expulsión de agua (4,5 l/seg y los más pequeños de 1,1 l/seg)

62 termas

72 fumarolas

13 lagunas (con formación de burbujas gaseosas)

5 pantanos de fango.

Respecto a la actividad, ésta cambia mucho en el transcurso de un día. Es más violenta en la mañana entre las 8 hasta las 11 hrs., mínima entre las 12 y 14 horas.

Las investigaciones desarrolladas anualmente por IDIEM desde 1953 y 1960 sobre la temperatura del agua, el quimismo y las eliminaciones de minerales sólidos, dieron el cuadro siguiente:

a) *Temperatura del agua:*

En geysers y fumarolas 81 — 90 °C

En termas y lagunas 41 — 62 °C

En desagües hacia el Oeste (Río Tatio, primer afluente del río Salado) 17 — 32 °C

b) *Quimismo del agua:*

Analizada en los laboratorios de la Universidad F. Santa María en 1954 por el profesor R. Alvarez, en 1955 por el Ingeniero K. Lothholz, en 1957 por los químicos del Instituto de Investigaciones y Ensayes de Materiales de la Universidad de Chile, confirmaron todos, por término medio, los siguientes valores:

PH 5,96 hasta 8,06

H₂BO₃ 0,06 hasta 1,05 gr/l

SiO₂ 0,11 hasta 0,36 gr/l

Al₂O₃ 0,005 hasta 0,038 gr/l

Fe₂O₃ 0,005 hasta 0,038 gr/l

Ca 0,07 hasta 0,28 gr/l

CO₂ indicios

c) *Eliminaciones de minerales sólidos:*

Dentro de la zona de geysers consisten en escoria de guijarros (substancia opalina y en menor grado de cloruros solubles).

d) *Origen del agua:*

Es difícil indicar cuánta agua de profundidad (juvenil) sea la que calienta el agua superficial (vadosa). Es cierto que el calentamiento se verifica por la presencia de un magma en vía de consolidación.

Después de este breve relato, quiero contestar a una pregunta: ¿cuánto tiempo seguirán estos fenómenos? Los mismos cuentan por lo menos con algunos miles de años de vida, y por lo tanto es lógico pensar que semejante fuente de energía esté bien lejos de presentar sorpresas como duración, siendo que la vida de las manifestaciones volcánicas debe medirse por miles de años; sin embargo es preciso decir que el fenómeno en objeto, a pesar de su imponentia, permite ser utilizado sólo y cuando se respeten ciertas condiciones geológicas y físicas. De todos modos los límites de dicha utilización son por lo general muy amplios.

Hoy día, cuando hay que estudiar una nueva zona en la cual se presentan posibilidades de hallar vapor, se procede de la forma siguiente: (*)

- 1 Relieves geológicos y prospecciones
- 2 Ubicación de las perforaciones a ejecutarse
- 3 Embridamiento del vapor hallado y relieves físico-químicos sobre el mismo
- 4 Estudio de las instalaciones apropiadas
- 5 Observaciones sobre los costos y los decrementos.

"Los relieves geológicos permiten dar una primera indicación sobre las estratificaciones visibles y sobre

* Datos del Dr. Ing. Gennai, Director Técnico de la "Larderello" S. A., en una comunicación oficial al Congreso de la Energía en Bruselas, 1958.

las más profundas que se controlan también por medio de los cateos generales. Dicho estudio permite, sucesivamente, establecer la ubicación de las perforaciones a ejecutarse. Se inicia de esta manera la serie de perforaciones que permitirá un control de los datos geológicos que permitirán también asegurar la existencia de vapor. Si el resultado de las perforaciones es positivo, se procederá al embriamiento del vapor y a las mediciones del caudal para revelar las curvas características en base a las cuales se estudia la utilización más adecuada del vapor producido y, por consecuencia, la planta y su tamaño. Durante dicho relieve y en espera de la utilización final, se arman unos grupos monobloques fácilmente transportables, con turbina de escape libre, acoplados con alternadores de potencia de cerca de 4.000 KW, alimentados por el vapor hallado. Dichos grupos serán ubicados en la posición más favorable respecto a la zona de explotación. Las medidas de las cantidades iniciales han de ser integradas con mediciones sucesivas para estudiar variaciones eventuales con respecto a los decrecimientos. Dichas mediciones sucesivas permiten establecer el momento en el cual se alcanza una estabilización, y es sobre los valores que se obtienen entonces que hay que establecer el tamaño de la planta". En la zona de las fumarolas boracíferas se encuentran (1959) funcionando nueve centrales, de las cuales dos están formadas por grupos móviles que, tal como dije más arriba, sirven para aprovechar en poco tiempo el vapor recién hallado, en espera de un arreglo definitivo. En total se han instalado más de 390.000 KVA incluyendo los grupos de reserva y sin considerar los 34.000 KVA de los servicios auxiliares, la producción es de cerca de 3.109 KWh por año.

"No es fácil hacer declaraciones sobre los costos por cada KVA instalado; ese índice es variable a causa de la incidencia de las perforaciones y de los gastos necesarios para mantener constante la cantidad de vapor que requieren las instalaciones que se encuentran funcionando, siempre mediante nuevas horadaciones. Pero, dicho costo puede evaluarse en aproximadamente 120.000 liras italianas por KVA instalado, incluyendo las perforaciones" (Gennai).

Al hacer mención de los costos de instalación, hay que recordar la incógnita del costo de las perforaciones en general y la necesidad de hacer nuevas búsquedas para mantener constante la cantidad de vapor necesaria a las instalaciones que se encuentren funcionando.

Por lo que se refiere a la primera parte, diré en breve que la profundidad a la cual se encuentra ahora el vapor es variable y por lo tanto son variables los costos de cada perforación; la variación se debe en su máxima parte a la importancia del estrato de masa arcillosa y a la del "retico"; por lo general hay va-

riaciones entre los 200 y los 500 metros por cada perforación. También pueden variar las características físicas y las cantidades de vapor hallado en cada perforación. No obstante que la técnica de búsqueda y los estudios geológicos hayan adelantado mucho, también a veces las perforaciones pueden resultar estériles.

"Además, hay que tener en cuenta la disminución del caudal de cada perforación en el tiempo y, por lo tanto, de la cantidad de vapor a recogerse para mantener constante la producción de las instalaciones en función."

"Esta es una de las mayores preocupaciones que hay en el estudio del tamaño de las plantas geotermoelectricas, y por lo tanto se necesita un conocimiento teórico-práctico amplísimo del fenómeno, ya que del mismo depende si el presupuesto del costo de funcionamiento será justo o equivocado." (1)

"Podemos excluir de antemano que la disminución dependa de la baja del fenómeno originario, ya que si así fuera, se habrían verificado otras tantas variaciones rápidas en los precedentes siglos o en los precedentes decenios y, por el contrario, eso nunca se verificó." (Dr. Ing. N. Gennai).

En cambio puede ocurrir —ya que esto se verifica muy a menudo cerca de la superficie— que se depositen sales en las vías de subida. Se ha comprobado a menudo este fenómeno y es característico en las manifestaciones de vapor húmedo a baja presión y a baja temperatura, mientras que resulta sin relieve en las perforaciones que llevan a la superficie vapores recalentados. Por lo tanto, las medidas sistemáticas del caudal y de la presión del vapor (cuando se verifiquen nuevas perforaciones) son determinantes.

"A la disminución del caudal y de la presión puede contribuir, en parte, un fenómeno: que los estratos geológicos atravesados por vapor sufran, por causas naturales, deformaciones; en este caso las grietas a través de las cuales el vapor sube hacia los estratos más superficiales, tienden ellas también a deformarse de continuo, variando de esta manera la sección de los canales naturales y por lo tanto las capacidades de los mismos." (Gennai).

Bajo este aspecto físico, el fenómeno, sin perjuicio de las que pueden ser las causas que lo determinan, puede compararse con razón a un circuito resistente cuyas resistencias sean presentadas por la mayor o menor posibilidad de paso ofrecida al vapor por el terreno que él mismo ha de atravesar. Claro está que el vapor llegará a la superficie siendo todavía tal, si

¹ Es evidente que para el aprovechamiento de la energía geotérmica, es un ingeniero especializado quien tiene que responsabilizarse de la obra.

ha perdido en su camino de subida desde el frente del fenómeno hasta la superficie terrestre, una cantidad de calor menor de la que se necesita para hacer evaporar y recalentar la correspondiente cantidad de agua.

Los fenómenos termales de aguas calientes, explotan probablemente una termalidad adquirida por el terreno tras un fenómeno volcánico de extinción, o bien se deben al vapor endógeno, el cual no tenía inicialmente una cantidad de calor que le permitiera subir a la superficie aún manteniéndose en estado de vapor. Claro está también que la perforación es ventajosa a todos los efectos, si la captación del vapor se efectúa en estratos lo más profundamente posible. Estas consideraciones son más intuitivas que demostrativas. Mencionemos brevemente ahora los costos de las plantas geotérmicas, para justificar lo dicho más arriba. "La búsqueda de vapor también en zonas notablemente indicadas y de las cuales existen unos relieves geológicos, ofrece todas las incógnitas de cualquier otro tipo de búsqueda minera; tanto en uno como en otro caso es determinante la perforación del terreno, la cual ha de decir la última palabra. Perforación que, en el caso de búsqueda de vapor, ha de llevarse a efecto con ciertos cuidados y por personal especializado. Los costos de dichas búsquedas, que llamaremos relieves geológicos —cateos generales— perforaciones— son los que inciden en medida notable sobre el costo de las instalaciones. El costo de cada perforación es sumamente variable y puede estar comprendido entre un mínimo de 30.000 liras italianas y un máximo de 80.000 por cada metro perforado. Los valores que han de ser tomados como valores medios, son por lo tanto muy variables y por otra parte están en función de la profundidad y de los estratos geológicos a atravesarse y de los diámetros." (Gennai). De todos modos, si la capacidad media neta de una serie de perforaciones hecha en una zona indicada no es inferior a 10.000 Kg. de vapor por hora por cada perforación, ésta ha de resultar conveniente y conveniente la planta. Naturalmente se debe contar con una duración de las perforaciones no inferior a diez años, lo que es razonable y no demasiado optimista de suponer. Una perforación de sólo 30 metros de profundidad hecha en la zona del Tatío chileno en 1923, por el Ingeniero Tocchi, de Larderello, todavía sigue dando vapor, sin haber disminuido su capacidad. Con 10.000 Kg/h de vapor seco con un porcentaje de gas dentro del 5% de peso, y con una presión de 4/5 atm., se pueden obtener alrededor de 8 millones de KWh netos por año. Este dato permite hacer un presupuesto aproximado, teniendo en cuenta que, una vez llevada a cabo las perforaciones, la central,

el galpón y las instalaciones, cuestan menos por KWA instalado que en la correspondiente planta térmica tradicional.

Las nuevas zonas de búsqueda en Larderello, dan por lo general capacidades medias, por cada perforación, superior a los 20-30.000 Kg. por hora y las profundidades a alcanzar no superan los 600-700 mts.. Por lo tanto, tenemos perspectivas muy favorables acerca del empleo de capitales en esta empresa. Aún más, dentro de ciertos límites, mayor es el capital disponible y mayores las posibilidades de éxito. La razón es evidente en una zona indicada, donde es preciso hacer cierto número de perforaciones antes de poder establecer una medida de las cantidades y de las cantidades del vapor y del tipo y planta explotadora. Por lo tanto, la perforación, debido a su costo medio por metro perforado, requiere abundantes capitales. En efecto, se puede dar el hecho de cuatro o cinco perforaciones que resulten estériles o casi, y que no ofrezcan suficientes indicaciones. En este caso la falta de recursos o su limitación paralizaría la empresa en su nacimiento, y con mera pérdida.

Las plantas geotermoelectricas italianas son ya un ejemplo demasiado positivo para que existan dudas sobre el resultado final al cual hay que tender con firme confianza.

BIBLIOGRAFIA

Libros y Revistas consultados

- J. BROGGEN. Los Geysers de los Volcanes del Tatío. Imprenta Universitaria. Santiago, 1943.
- J. BRÜGGEN. Fundamento de la Geología de Chile. Instituto Geográfico Militar. Santiago, 1950.
- CONTINI-BURGASSI. Caratteristiche delle Sorgenti di Vapor naturale nella regione di Larderello. Congresso A. T. I. Pisa, 1959.
- CONTINI-COSTANTINI-DI MARIO-SESTINI. Della pressione qui conveniente per la produzione di energia elettrica utilizzando vapor endogeno. Congresso A. T. I. Pisa, 1959.
- N. GENNAI. Energia geotermica e sua utilizzazioni nella zona di Larderello. Congresso. Bruxelles, 1958.
- U. MARALDIO. Captación de vapor subterráneo en el Monte Amiata. Revista "Tempo". Nº 34. Milano, 1960.
- A. MAZZONI. I Soffioni Boraceferi Toscani e gli Impianti di Larderello. Arti Grafiche. Bologna, 1951.
- V. MOVIEV. El Calor de la Tierra. Revista "Unión Soviética". Nº 122. Moscú, 1960.
- E. TOCCHI. Estudio geológico y geotérmico del Tatío chileno. Informe reservado para la "Larderello, S. A.". Casteinuovo, 1923.
- W. ZEIL. Das Fumarolen und Geysers Feld westlich der Vulkangruppe des Tatío. Bayerische Akademie der Wissenschaften. Abhandlungen, Heft 96. München, 1959.