

ELECTRIFICACION DEL NORTE CON ENERGIA GEOTERMICA DEL TATIO CHILENO

Antecedentes. Al oriente de la provincia de Antofagasta, y en plena cordillera de los Andes, existe una extensión que tiene abundancia de fumarolas, denominada Tatio.

En atención a las posibilidades de aprovechar esta fuente de energía térmica, para transformarla en energía eléctrica, o en algunas de las formas usuales de la fuerza motriz, se han efectuado tres tentativas, la primera de las cuales corresponde a la iniciativa particular.

I tentativa. El año 1922, se formó la Comunidad Minera del Tatio, que después se constituyó con la razón social de "Sociedad Minera Explotadora del Tatio". Bajo los auspicios de esta entidad se efectuaron exploraciones durante el año 1923 y, además, se practicaron tres pequeñas perforaciones en el terreno destinadas a incrementar el conocimiento y aprovechamiento de esta fuente termal. La falta de medios económicos no permitió a esta sociedad continuar sus propósitos.

II tentativa. El año 1952, la Universidad Técnica Federico Santa María, encargó el estudio de las características de esta energía geotérmica, al ingeniero Filipponi, que anteriormente tuvo conocimiento de la planta térmica del Lardarello en Italia y que partió en enero de 1953 con un grupo de colegas y de estudiantes de esa Universidad.

El informe del ingeniero Filipponi estableció que era indispensable estudiar la tectónica de la región, la potencia de las emanaciones de las fumarolas para determinar con más elementos de juicio el aprovechamiento de la energía geotérmica del Tatio. Las investigaciones de la Universidad Federico Santa María no siguieron más adelante.

III tentativa. El año 1956, la Universidad de Chile tomó conocimiento de los antecedentes sumariamente descritos en las líneas anteriores, por información del profesor Filipponi y decidió ampliar en la medida de lo permisible, con sus recursos, toda la información científica y técnica posible referente a la capacidad de energía geotérmica del Tatio.

Para esto delegó en el Director del Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales, ingeniero de Minas señor Edmundo Thomas Neumann, la tarea de coordinar esta importante investigación.

Bajo estos auspicios se efectuaron tres nuevas exploraciones en la Región del Tatio, sin contar con la labor de la FACH, que sobrevoló la región de geysers en tres oportunidades, para efectuar el levantamiento aerofotogramétrico.

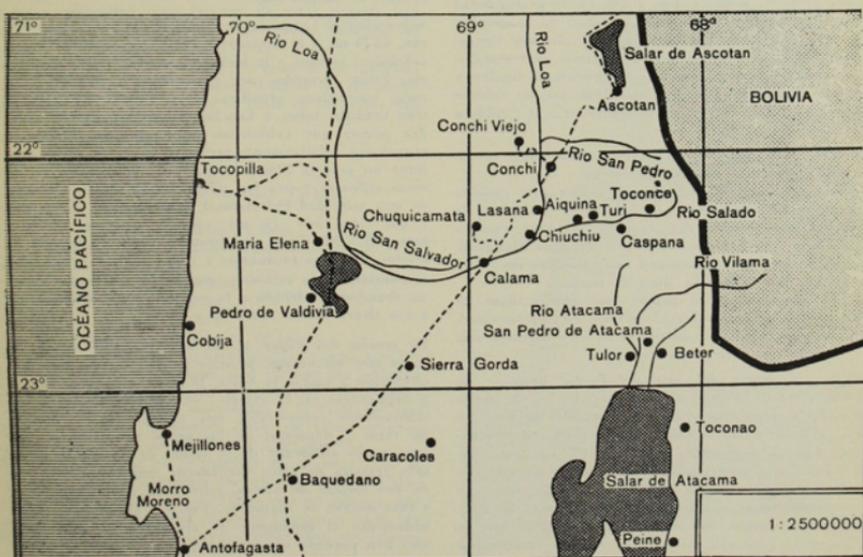
La primera exploración fue efectuada con la concurrencia del ingeniero Edmundo Thomas, el profesor Filipponi, el geólogo Werner Zeil y el geólogo Cautipolicán Cofré; la segunda fue efectuada solamente por los geólogos, y la tercera por el profesor Filipponi y el ingeniero Robert Steele, representante de una importante industria especialista en equipos de perforación de pozos.

por el prof. Ing. ANGELO FILIPPONI



fig. 3. Emanación de vapor en la ollada de los geysers

fig. 1. Ubicación de la zona



Como resultado de todas estas exploraciones, el profesor Werner Zeil remitió un informe científico sobre los estudios efectuados.

En una de las conclusiones fundamentales, el doctor Zeil establece que sólo es posible efectuar proyectos de aprovechamiento, una vez que se hayan efectuado perforaciones en el terreno con la adecuada profundidad que permita el afloramiento de las columnas de vapor capaces de impulsar una planta termoeléctrica, proyectada adecuadamente a las características de presión y temperatura del vapor surgente.

Otras conclusiones que merecen ser consideradas en toda su extensión, son las que se refieren a proseguir las investigaciones sobre mediciones térmicas y geofísicas efectuadas por un experto en tales trabajos, para lo cual recomienda la formación de una pequeña comisión formada por un geólogo y un experto en perforaciones contratados del personal que trabaje en la Lardarello S. A. (Italia).

La energía geotérmica es una dote que nuestro planeta recibió hace muchos millones de años cuando se desprendió de su padre, el sol.

Después el orbe comenzó a refrigerarse y se cubrió exteriormente con una capa siempre más espesa y dura. Esta capa, se opina también hoy, tiene un espesor aproximado de unos 100 kms. De lo que se podría encontrar más abajo, no tenemos informes.

Lo cierto es que profundizándose en el suelo, se encuentran temperaturas siempre más elevadas cuya gradiente es de 31 m/C° y que, a una cierta profundidad se puede encontrar una gran cantidad de magma, o sea, lava fluida, de alta presión y de altísima temperatura. Las estratificaciones geológicas sobrepuestas, que contienen siempre agua, se calientan, se funden y generan vapor de agua. Este tipo, enorme, de caldera natural, se llama "plutón alimentador", o "caldera plutónica".

Muchas veces el plutón se abre camino hacia la superficie terrestre y origina un volcán.

La enorme cantidad de energía geotérmica poseída por el vapor que surge de la región plutónica, la demostró la erupción del Vesubio, en 1902, cuando se produjo una columna de vapor de agua blanquísimo, de 12 km. de altura y con una cabellera de 2 km. de ancho. Este fenómeno duró 12 horas.

Por lo tanto, es lógico pensar que para utilizar tal energía debemos perforar el terreno en regiones volcánicas, pues aquí la zona plutónica se encuentra más cerca de la superficie terrestre.

Esta es la teoría del profesor Penta, profesor de la Universidad de Roma, que tuvo la buena suerte de poderla demostrar, habiendo dirigido durante los años 1950-53 perforaciones en la zona circunvesubiana. Fueron exploradas las zonas Flegreas con medios geofísicos modernísimos y después se hicieron sondeos hasta cerca de 2000 m. Algunas veces no se necesitó llegar a tanta profundidad, pues la energía térmica surgió libremente con el vapor que se forma en la zona plutónica y que se abre camino por la vía de menor resistencia.

A veces, subiendo el vapor por un largo camino, se refrigera, encontrando agua vadosa, y se forma agua caliente.

Desde la cadena de Los Andes, en el límite internacional con Bolivia a los 22 grados, 20 minutos de latitud sur, se separa en dirección al suroeste un cordón de cerros que toma su nombre del Cerro Tatio (Cerro Quemado). Estos cerros tienen un carácter que demuestra que existió una actividad volcánica en una época, geológicamente hablando, bastante reciente (comienzo del cuaternario). Paralelo a los cerros del Tatio, hacia el oeste, hay un grupo de alturas que más al norte concluyen en la cumbre del Copacoya y, más al sur, en la de los Cerros de Tukle; queda así, delineado y encerrado entre estos cerros, un extenso llano un poco inclinado hacia el suroeste, en el cual nacen aguas por una infinidad de manantiales repartidos en toda su área. Por la pequeña inclinación del terreno, estas aguas quedan en algunas partes casi estancadas, mientras en la parte central, juntándose en varios ramales, prosiguen serpenteando hasta formar el Río Tatio, que es el primer afluente del Río Salado. Todos los manantiales son termales y están acompañados por chorros de vapor, motivo por el cual el lugar fue bautizado "ollada de los Geysers". El llano donde se encuentran, tiene una altura sobre el nivel del mar de 4.282 m. y la posición geográfica es de:

68° 1' 49" longitud W. Greenwich (Fig. 1).
22° 20' 8" latitud sur.

Sobresalen el Cerro Tatio, con 5.480 m., el Cerro Volcán, 5.570 m., y el Copacoya, 4.820 m. Todos de origen volcánico, aunque a la fecha han perdido esta apariencia. Están formados por elevaciones y derrames de rocas traquíticas, graníticas y porfídicas. Se encuentran también tobas y brechas con fragmentos de piedra pómez que evidencian aún más los rastros de erupciones relativamente recientes. Todo el llano presenta un aspecto blanquizo por las incrustaciones de rocas silíceas y por las eflorescencias salinas, rastros de una actividad hidrotermal, grandiosa en el pasado, y que sigue hoy con una emisión de agua caliente, entre 80 y 87 (°C), que brota por un sinnúmero de grietas, agujeros profundos y conos de geysers. Los manantiales más calientes, emiten naturalmente vapor en abundancia, debido a la evaporación del agua, que a esa altura hierve entre 84 y 85 (°C).

La acción del vapor y del agua caliente sobre las rocas que atraviesan, produce en ellas una profunda alteración y extrae la sílice, la cual en seguida vuelve a depositarse en el exterior en capas y pequeñas incrustaciones concretadas, que tapizan los bordes de las tazas y depósitos de las aguas hirvientes, y forman conos alrededor de la salida de los geysers. Los más grandes de estos verdaderos cráteres tienen más de dos metros de altura, sobre una anchura base de 5 y más metros de diámetro (Fig. 2). Observando detenidamente el fenómeno de alteración de los conos que han perdido sus actividades, se llega a descubrir los rastros de geysers, aún más antiguos, sobre grandes

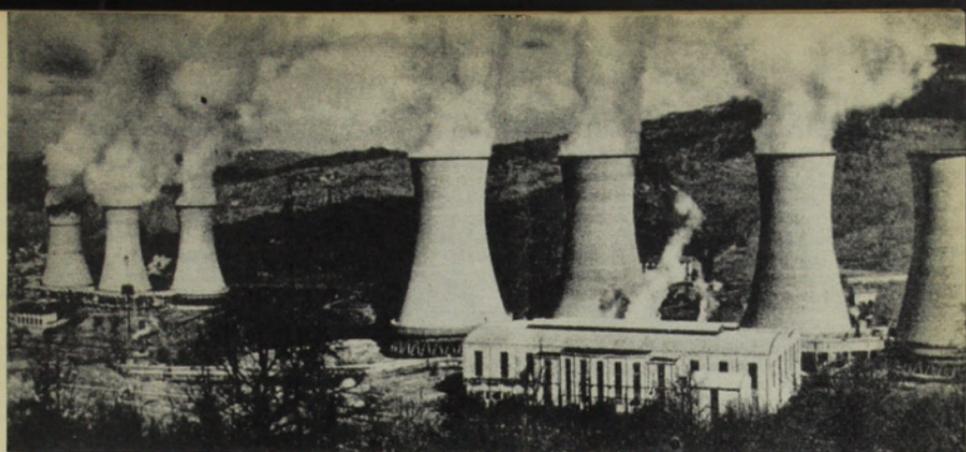


fig. 5. Plantas geotérmicas de Larderello, Italia

áreas circulares marcadas por diferencia de color, o por los bordes de planchones blancos silíceos que apenas sobresalen. Los detritos de estos geysers han contribuido a formar la blanca llanura "olla de los geysers" (Fig. 3).

Es importante bajo el punto de vista de las posibles líneas de transmisión de fuerza, indicar las distancias en líneas rectas que separan al Tatio de los sitios más cercanos e importantes:

Desde Tocopilla, 230 kms.

Desde Calama, 100 kms.

Desde Antofagasta, 350 kms.

Desde San Pedro (Est. Ferrocarril), 75 kms.

Desde Chiu-Chiu, 65 kms.

Desde San Pedro de Atacama, 70 kms.

Para llegar al Tatio se puede seguir la siguiente ruta, saliendo de Antofagasta:

Antofagasta - Calama, 238 kms.

Calama - Chiu-Chiu, 33 kms.

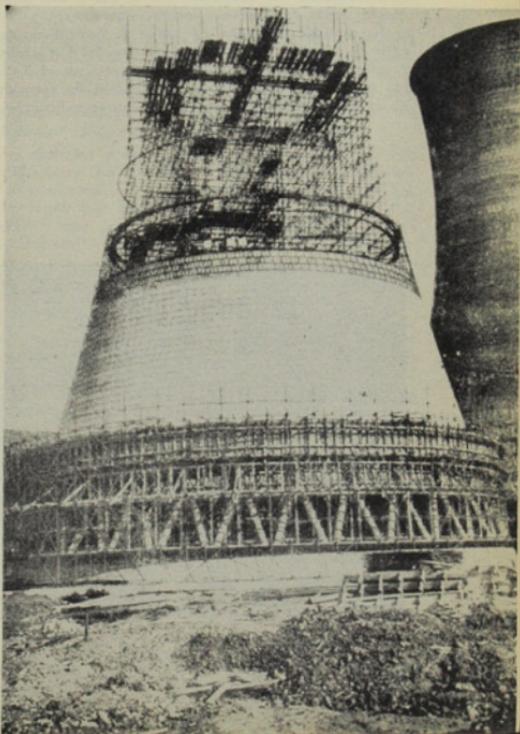
Chiu-Chiu - Toconce, 50 kms.

Toconce - Ollada de los Geysers, 20 kms.

El camino es un poco accidentado. La pampa que en apariencia se presenta plana, está cortada por cañones profundos formados por los afluentes del Río Salado. Las aldeas de Toconce, escondidas a la vista del viajero que recorre la pampa, están en estos cañones cuyas paredes son cortadas casi verticalmente.

En 1917, ya estaba en el máximo de su intensidad la fiebre de las exploraciones petrolíferas en Chile. Ingenieros y geólogos, de distintas nacionalidades, habían hecho exploraciones desde la Patagonia hasta los desiertos del norte. Entre las diferentes comisiones

fig. 6. Torre de refrigeración de una central geotérmica en construcción (Italia)



organizadas para este objeto estaba la de la casa Gibbs de Antofagasta, compuesta, entre otros geólogos, por el ingeniero Luis Abd-El-Kader. Esta comisión no halló ningún yacimiento petrolífero entonces; como resultado de sus estudios, presentó un informe del que tomamos el siguiente párrafo, muy interesante: "El Tatio es una región donde se encuentran emanaciones, o chorros de vapor, que brotan del suelo con un ímpetu considerable y un ruido ensordecedor y que los indígenas llaman volcanes de aire. Hemos probado tapar uno de esos hoyos y las piedras más grandes, encontradas a nuestro alrededor, eran arrojadas al aire como pedacitos de papel, por la gran fuerza de ese vapor".

Nadie en aquel entonces dio importancia al relato del geólogo Abd-El-Kader. Pero en 1920, hallándose el ingeniero Juan Severina, en posesión de informes más completos y detalles precisos de los trabajos realizados en Italia para utilizar la energía térmica de los vapores de origen volcánico, se apresuró a constituir una "Comunidad preliminar del Tatio" que logró llegar al fin de los trámites legales para el perfeccionamiento de los títulos, a base de un contrato de arrendamiento suscrito con el gobierno de Chile, en 1921. El primer paso de la "Comunidad del Tatio" fue el de contratar un geólogo, el ingeniero Ettore Tocchi y un perforista de gran experiencia. Llegaron estos al puerto de Antofagasta en noviembre de 1921. Largo sería enumerar el curso de los estudios del señor Tocchi, cuyas conclusiones son las siguientes:

- a) La cantidad de vapor que surge de los geysers del Tatio es superior a la de las fumarolas del Lardarello.
- b) Que sin exageración podría obtenerse en el Tatio una potencia enorme que se hace difícil de apreciar. En la imposibilidad de hacer una exacta valorización

de la cantidad de vapor que se puede obtener, hasta cuando las perforaciones permitirán efectuar las medidas rigurosas del caudal (el ingeniero Tocchi llegó solamente a 50 metros de profundidad) tenemos que limitarnos a estimar la probable potencialidad de una instalación en el Tatio, únicamente por datos de comparación, y considerando la extensión del terreno con manifestaciones geotérmicas (Fig. 4). Pueden dar una idea las siguientes consideraciones:

El agua que alimenta al Río Salado procede de los nevados de las cumbres cercanas y su calentamiento es debido exclusivamente al paso por ella del agua y del vapor de origen profundo del Tatio. Siendo el caudal del Río Salado de más o menos 300 litros por segundo, al salir de la "Ollada de los Geysers", puede deducirse, siendo la temperatura media anual del Río Salado de 20°C, que la energía térmica entregada por el Tatio al Río Salado es de más o menos 6.000 kcal/seg.

Es por esto que en espera de las conclusiones directas, después de perforaciones hasta unos cientos de metros, podremos comprobar, creemos sin duda, la posibilidad de utilizar una potencia considerable en el Tatio.

Además, las manifestaciones superficiales, como la experiencia geológica ha demostrado ampliamente en estos últimos años, especialmente en Italia, en la zona de Lardarello, del Vesubio, etc., que son siempre de menor importancia que las de la región preplutónica, que se podrá alcanzar por medio de las perforaciones. Una gran obra de ingeniería nunca se levanta en forma improvisada; sus bases son siempre económicas y su realización exige siempre una profunda y acabada preparación científica y una madura experiencia. La planta de Lardarello demandó más de 25 años de

Ollada de los geysers



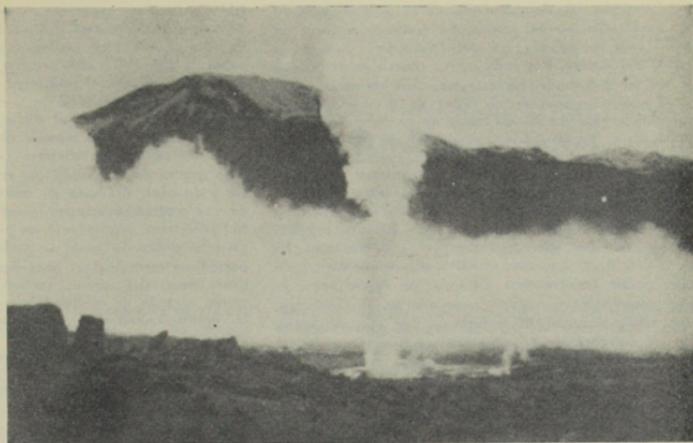


fig. 4. La primera perforación del Tatio chileno, efectuada por el Ing. Ettore Tocchi en 1922 (foto de la época)

estudios y de trabajos progresivos, y concurrieron a ellos los mejores mecánicos, geólogos, químicos, termólogos, electricistas, guiados por un hombre de singular temple, el ingeniero Pietro Ginori, quien no tan sólo tuvo la idea de esto, sino que también la tenacidad necesaria para llevar a cabo la obra.

En 1904, el ingeniero Ginori, nombrado director de la Sociedad Boracifera de Lardarello, inició experiencias sistemáticas para poder utilizar el contenido térmico de las "fumarolas", es decir de los chorros de vapor que surgen de continuo de las profundas entrañas de la tierra por causa de volcanismo.

La primera máquina de vapor utilizada para el experimento tenía una potencia de 1 [Cv], pero a los pocos meses se la sustituyó por otra de 40 [Cv] acoplada a un dinamo para servicio de alumbrado. Dicha máquina funcionó en forma regular por muchos años. Luego de este experimento, se dedicó mayor atención a conseguir mayores cantidades de vapor, perfeccionando la técnica de la perforación y alcanzando mayor profundidad. Así llegamos al año 1912, cuando fue inaugurada una central de notable potencia, pues habían sido superadas las dificultades derivadas de los fenómenos de corrosión debidos al grado de acidez del vapor. Se resolvió este problema calentando por medio del vapor natural, un evaporador (Tipo Bringhamenti) donde el vapor de alimentación para la planta se conseguía directamente del agua pura. El vapor natural por lo tanto funcionaba como simple calentador; luego pasaba a la planta química para la extracción de las substancias útiles contenidas en él. El resultado fue tan favorable que en 1917 se pudo instalar tres

grupos de turbo-alternadores, cada uno de la potencia de 9.000 Kw. La búsqueda geológica, fue perfeccionada desde este año por medio del empleo de ondas sísmicas artificiales, y las perforaciones alcanzaron a gran profundidad con tubos de acero de 70 [cm.] de diámetro (Fig. 5).

Los trabajos desarrollados hasta el año 1939 fueron imponentes. En este año se encontraban en funciones 140 perforaciones con un caudal total de 2.150.000 Kg. de vapor por hora con temperatura media de 250 [°C] y una presión absoluta variable desde 4 hasta 6 [Kg/cm²]. Cabría preguntarse a cuánto alcanzarán en el presente los recursos aún no explotados en la zona de Lardarello. Los geólogos son prudentes y no declaran cifras, pero sabemos que se trata de cantidades enormes.

La velocidad del vapor que surge de los pozos se encuentra en relación con la presión existente. Por ejemplo, el "Solfione", capturado el 27 de marzo de 1931, tenía un caudal de 220.000 Kg/h de vapor y una temperatura de 205°C con una presión de 4,5 Kg/cm². El chorro dirigido a 267 m. de profundidad y llevado hasta la superficie a través del tubo de sondaje, fue encauzado y utilizado el 18 de abril del mismo año. Otro chorro de 160.000 Kg/h y con temperatura de 215 [°C] y presión de 5,7 Kg/cm², fue hallado a 164 m. de profundidad. Uno de los más recientes, encauzado en el mes de marzo de 1948 posee un caudal de 130.000 Kg/h. con temperatura de 210 [°C] y una presión de 7 Kg/cm², y proviene de 800 m. de profundidad.

La operación de encauzamiento no es fácil a causa de las características del vapor. Se trata de aplicar un tubo T a la embocadura del "Soffione" durante la salida del chorro. Por cada nuevo chorro se determina el caudal del vapor, las características térmicas de él y el análisis químico. El vapor es conducido hasta las plantas por medio de tubos de acero aislados térmicamente. Su utilización puede ser directa, introduciéndolo en turbinas a vapor con escape libre, o también indirecta, introduciéndole en calderas especiales (tipo Brighenti) para obtener vapor puro destinado a turbinas con condensador. Sea con sistema directo o indirecto, el funcionamiento ha sido siempre regular. Ambos sistemas presentan ventajas y desventajas. El del vapor natural es más sencillo, más económico y de más rápida construcción. El otro, de vapor puro, es más complicado y costoso, pero admite, sin embargo, una mayor duración de la turbina. Por lo tanto, según las circunstancias y la característica físico-química del vapor se prefiere uno u otro sistema.

Un aspecto característico de la planta de Lardarello son las grandes torres de cemento armado de tipo hiperbólico para la refrigeración del agua necesaria en el funcionamiento de los grupos de vapor puro. En estas torres se enfría una notable cantidad de agua destinada a los condensadores de las turbinas, puesto que en esas zonas falta por completo el agua fría, encontrándose sólo caliente (Fig. 6).

Para mayor claridad debe notarse que usando turbinas a vapor puro, las sustancias químicas obtenibles se encuentran en los serpentines de los aparatos destinados al intercambio térmico, mientras que si se usan turbinas de vapor natural y escape libre, dichas sustancias se encuentran en la descarga. Además del ácido bórico, borato sódico, bicarbonato de amonio, se consigue, mediante un tratamiento especial de horno eléctrico, carburo de boro, que reemplaza en algunas aplicaciones al diamante.

Una idea concreta de la contribución que la energía geotérmica ha agregado a la solución del problema eléctrico italiano, podemos formularla recordando que una nueva central que empezó a funcionar en 1952 representa por sí sola 8,000,000 de Kwh/año. Durante el año 1921, en los Estados Unidos, la General Elec-

tric Co. hizo un experimento en California consiguiendo vapor a 150°C con presión de 6 Kg/cm². En Java, durante el año 1926 geólogos holandeses consiguieron vapor a 220 [°C] con presión de 5 Kg/cm². Ahora, en todo el mundo, el problema de la energía geotérmica es de gran actualidad.

Por lo que se refiere al Tatio, es cosa evidente que al poderse utilizar la energía disponible, todo el norte de Chile podría beneficiarse con energía eléctrica a bajo precio, lo que daría un gran impulso al desarrollo industrial. El costo de construcción y explotación de una central geotérmica es inferior al de una central hidroeléctrica, equivalente en potencia.

En este orden de cosas se están tomando mediciones periódicas termológicas para determinar las características físicas del vapor; análisis químicos, recogiendo vapor surgido de profundidades variadas, puesto que las manifestaciones de superficie no pueden tener características constantes. Luego de esto, y cuando la experiencia indique que es posible contar sobre la continuidad y la constante característica del fenómeno, podrá ser emprendida la utilización de la energía, cuyo problema, después de los resultados de las centrales de Lardarello quedará limitado a un buen trabajo de ingeniería y nada más. Se podría también estudiar explotar esta energía utilizando el agua caliente de los geysers para calentar un líquido intermediario que tenga un punto de ebullición bastante bajo, como la "dielina" y con el vapor producido de esta sustancia accionar una turbina. La dielina no es combustible ni corrosiva. Esta aplicación se encuentra también en Italia, en la Isla de Ischia (Nápoles). Pero tenemos que observar que la Central geotérmica de Ischia, utiliza como intermediario el cloruro de etilo, que es combustible y es venenoso.

Cuando visité con el Decano de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, señor Carlos Mori, la Central de Ischia en marzo de 1958, un incendio la había paralizado.

El ciclo a Dielina fue estudiado en 1922 por el profesor Ingeniero señor Mario Dornig y yo tuve la suerte de realizar y ensayar una caldera de este tipo en 1926.

(Terminará en el próximo número con "Crítica a los trabajos de los profs. Bruggen y Zeil").