

ISSN-0328-2325

ENERGIA GEOTERMICA: *Promisoria Alternativa*

Abel H. Pesce



Dirección Nacional del Servicio Geológico

**SECRETARIA
DE MINERIA
DE LA NACION**

**ANALES Nº 22
1994**

NUEVAS FUENTES

ENERGIA

GEOTERMICA:

PROMISORIA

ALTERNATIVA

LINEAS DE ACCION PRIORITARIAS

Hablar de energía geotérmica es hablar y pensar en tiempo futuro. Lo que hoy se aprenda, lo que hoy se pueda realizar, es abrir las puertas de la previsión.

Toda energía será bienvenida cuando lo convencional deteriore su eficiencia.

La Geotermia va en camino de ser Una alternativa de grandes posibilidades.

Este trabajo pretende demostrar tales conceptos y establecer líneas prioritarias en su accionar.

Abel H. Pesce

Dirección Nacional del
Servicio Geológico

SECRETARIA
DE MINERIA

1994

CAPITULO 1

INTRODUCCION A LA ENERGIA GEOTERMICA. DEFINICIONES Y CONCEPTOS BASICOS

| | |
|--|---|
| 1.1 INTRODUCCION | 3 |
| 1.2 LA DINAMICA LITOSFERICA Y LA GEOTERMIA DE ALTA Y BAJA ENTALPIA | 4 |
| 1.3 LOS CAMPOS GEOTERMICOS | 7 |
| 1.4 LOS PROYECTOS GEOTERMICOS | 9 |
| 1.5 LA ESTRATEGIA EXPLORATORIA | 9 |

CAPITULO 2

LA GEOTERMIA COMO UNA ENERGIA COMPLEMENTARIA POTENCIAL Y UTILIZACION ACTUAL EN EL MUNDO

| | |
|---|----|
| 2.1 EVOLUCION HISTORICA DE LA GEOTERMIA | 11 |
| 2.2 LA POTENCIA INSTALADA | 13 |
| 2.2.1 Geotermia de alta entalpía | 13 |
| 2.2.1.1 Desarrollo geotérmico entre 1985-1990 | 14 |
| 2.2.2 Geotermia de baja entalpía | 18 |
| 2.2.3 Panorama en América Latina y el Caribe | 20 |
| 2.2.3.1 Estado del desarrollo alcanzado | 23 |
| 2.2.4 Situación en la República Argentina | 24 |

CAPITULO 3

LAS LINEAS DE ACCION PRIORITARIAS

| | |
|------------------------|----|
| 3.1 INTRODUCCION | 29 |
| 3.2 OBJETIVOS | 29 |

CAPITULO 4

LA EXPLOTACION DE LA GEOTERMIA DE BAJA ENTALPIA

| | |
|--|-----------|
| 4.1 INTRODUCCION | 31 |
| 4.2 TECNICAS DE APLICACION DE LAS FUENTES DE BAJA ENTALPIA | 31 |
| 4.2.1 Alcance de la potencia de la energía geotérmica | 31 |
| 4.2.2 Instalaciones geotérmicas con intercaldores de calor | 33 |
| 4.2.3 Instalaciones geotérmicas con bomba de calor | 33 |
| 4.3 APLICACIONES DE LA GEOTERMIA EN LA CALEFACCION Y EN EL SUMINISTRO DE AGUA CALIENTE SANITARIA | 34 |
| 4.3.1 Sistemas de emision de calor | 35 |
| 4.3.2 Suministro de agua caliente sanitaria | 35 |
| 4.4 APLICACIONES AGRICOLAS INDUSTRIALES | 35 |
| 4.4.1 La calefacción de invernaderos | 35 |
| 4.4.2 Aplicaciones industriales | 37 |
| Bibliografía consultada | 39 |

INTRODUCCION A LA ENERGIA GEOTERMICA

DEFINICIONES Y CONCEPTOS BASICOS

1.1

INTRODUCCION

La tierra, además de proveer la energía almacenada en los materiales fósiles que alberga en su corteza, también genera energía en forma activa. La extracción, el tratamiento y la utilización de petróleo, gas natural y carbón involucran la determinación explícita de recuperar la energía acumulada en esos materiales a lo largo de los tiempos geológicos. La energía activa, en cambio, requiere de un complejo sistema de aprovechamiento al momento de su manifestación, dada su rápida disipación. Las erupciones volcánicas, las fumarolas y los movimientos sísmicos son las formas más espectaculares en las que se libera energía activa y que alcanza generalmente, magnitudes incontrolables y por ello de riesgosa e inimaginable captación. Pero una de las formas de producción de energía activa, cuyo aprovechamiento es técnicamente posible, es la que se origina en las profundidades del planeta y se transmite por conducción térmica a través de las distintas capas rocosas. Esta propagación del calor acumulado puede avanzar hasta zonas de gran contenido hídrico, y producir la consiguiente transferencia energética a la masa de agua, dando origen a la conformación de reservorios naturales. Las profundidades a las que se encuentran varían de 500 a 2000 metros y las temperaturas oscilan entre los 150 y 300 grados centígrados. El aprovechamiento de estos flujos térmicos deriva en numerosas aplicaciones prácticas económicamente redituables.

La **Geotermia** es la disciplina científica que comprende el estudio de las variaciones de temperatura dentro de la corteza y los fenómenos naturales que influyen sobre la distribución de los flujos térmicos. Los progresos alcanzados en las últimas décadas, así como la puesta en marcha de proyectos ambiciosos y efectivos en muchas partes del mundo, hacen que los estudios geotérmicos representen un camino fértil para la búsqueda y hallazgo de nuevas fuentes de energía.

En el presente trabajo se describen los fundamentos básicos en que se apoyan los estudios geotérmicos, se incluye una aproximación al conocimiento de la dinámica litosférica y se brinda una amplia referencia a las aplicaciones de la energía geotérmica. Por otra parte, y para ubicar la información dada en un contexto en el cual el lector pueda extender y profundizar su propias conclusiones e inquietudes, se ofrece una breve evolución histórica y la situación actual en el mundo, en América Latina y en nuestro país que presentan los conocimientos y aplicaciones geotérmicas.

1.2

LA DINAMICA LITOSFERICA Y LA GEOTERMIA DE ALTA Y BAJA ENTALPIA

En términos generales se considera que el aumento normal de la temperatura de la corteza terrestre en función de la profundidad es de 33°C por kilómetro. En el planeta se conocen regiones donde el valor del gradiente geotérmico es varias veces superior al normal, fenómeno que se destaca por la presencia de temperaturas elevadas en niveles superficiales. Las causas de estas anomalías pueden ser de origen químico, radiométrico o mecánico, pero la más importante para la generación de calor consiste generalmente en el emplazamiento de un cuerpo magmático a niveles poco profundos de la corteza. El origen de los cuerpos magmáticos y las manifestaciones volcánicas e hidrotermales está asociado a zonas sísmicas, ubicadas preferentemente en los límites entre las placas litosféricas (figura 1).

De la estructura de la tierra y de su geodinámica se pueden reconocer dos clases de regiones definidas que determinan sendas formas principales de explotación de la energía geotérmica. La primera clase corresponde a regiones donde la corteza terrestre tiene un comportamiento relativamente estable como el que ofrecen las plataformas continentales (figura 2). En ellas existen áreas semi-térmicas que presentan concentración de calor con flujos que tienen gradientes del orden de los 30 a los 50°C por kilómetro de profundidad. Si en estas regiones existen estructuras favorables y se pueden realizar perforaciones apropiadas, es posible obtener fluidos de baja temperatura, del orden de los 50 a 100° centígrados.

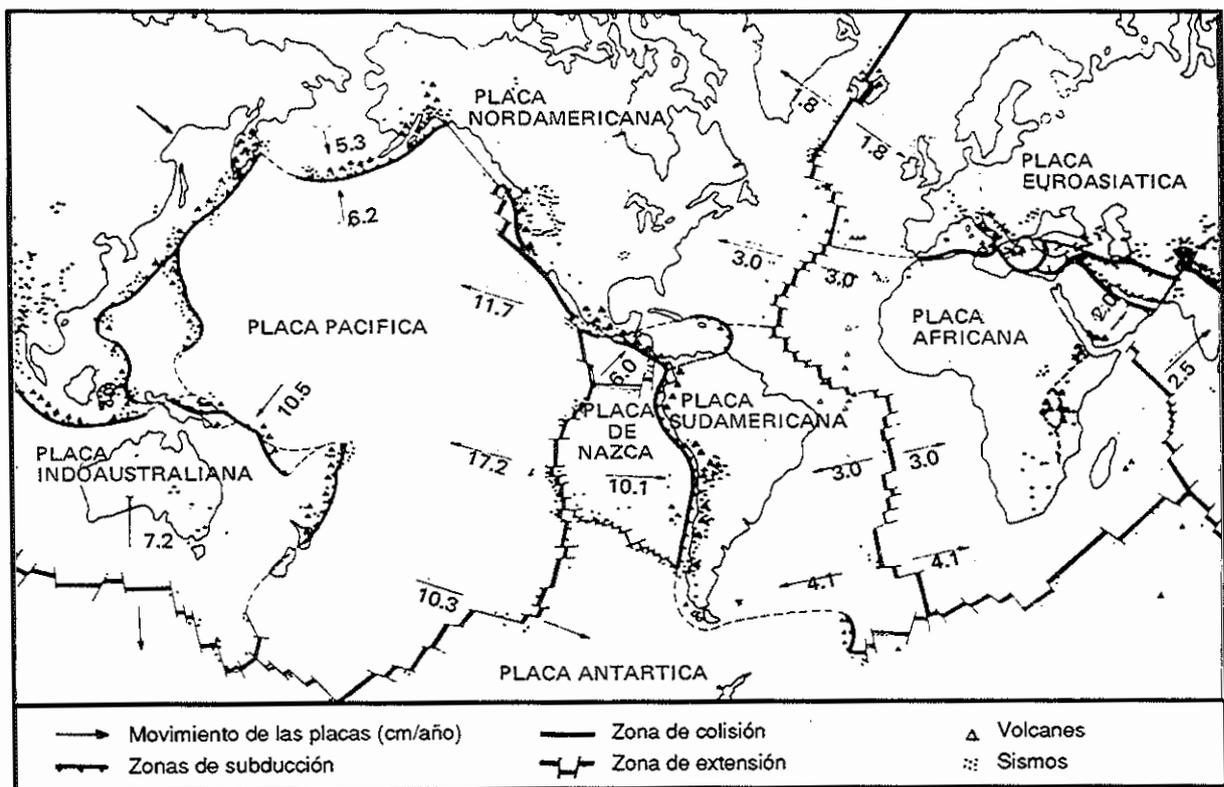


Figura N° 1

La segunda clase abarca las zonas activas ubicadas en los límites de placas en expansión, como los rifts oceánicos o continentales o las zonas de subducción con arcos insulares o márgenes continentales. En algunos sectores propicios la convección magmática permite la concentración de flujo de calor, aumentando el gradiente geotérmico a valores sensiblemente mayores que los normales. Las temperaturas originadas varían entre los 150 y 300°C a profundidades

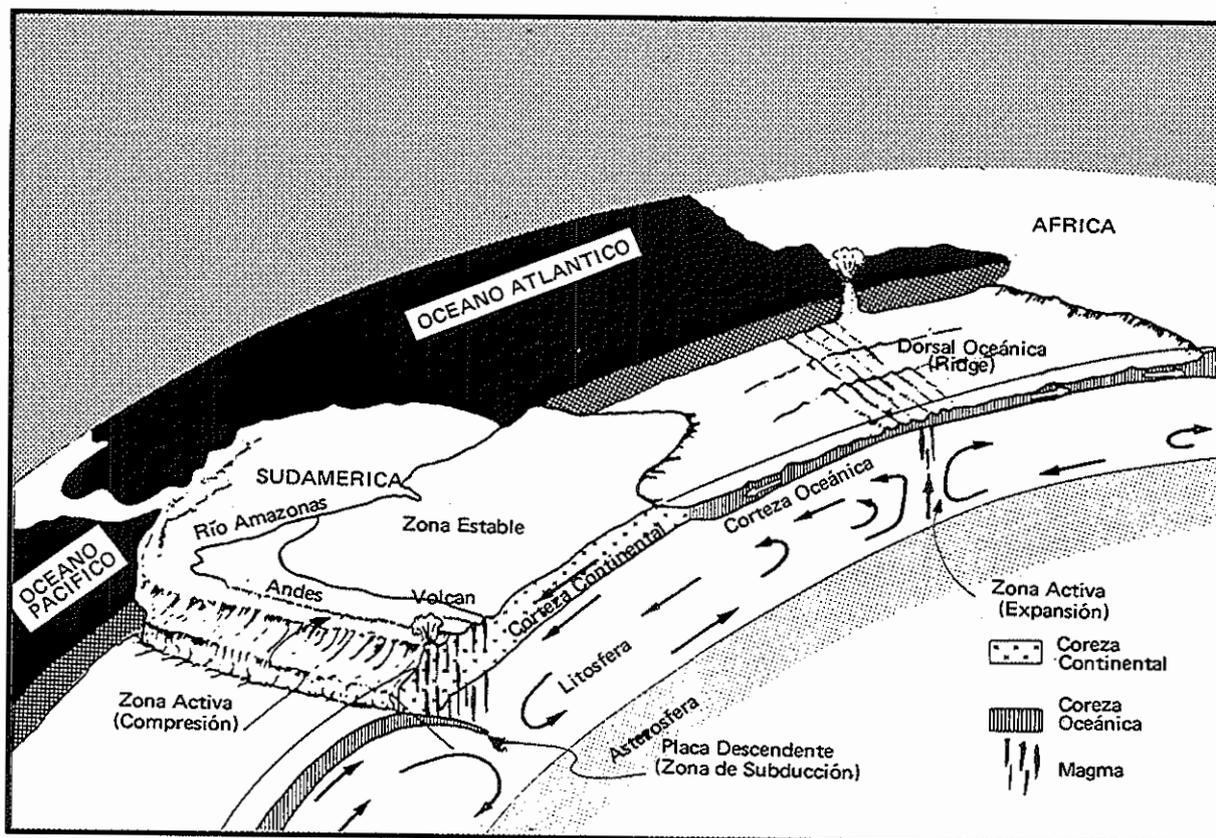


Figura Nº 2
Relación entre placas litosféricas y dinámica cortical

de 500 a 2000 metros, posibilitando la producción de fluidos de altas temperaturas.

La primera de las regiones señaladas se corresponde con la **geotermia de baja entalpía**. Desde el punto de vista de la energía del planeta es, cuantitativamente, la más importante porque afecta a zonas muy vastas y sus aplicaciones están vinculadas a un uso directo del calor en múltiples emprendimientos económicos.

La segunda clase de regiones mencionadas se relaciona con la **geotermia de alta entalpía** y aunque sólo se limita a ciertos sectores de la corteza, su interés económico es mayor. Históricamente fueron las primeras fuentes de utilización industrial y, actualmente, son las áreas de mayor desarrollo del mundo, para la producción de electricidad.

La geotermia de alta entalpía presenta perspectivas sumamente interesantes pero, debido a sus características genéticas, los reservorios se encuentran desproporcionadamente repartidos según los países y regiones. La explotación se limita a las zonas que marcan los márgenes entre las placas litosféricas (figura 3). La zona occidental de la Argentina corresponde a una zona de márgenes continentales activos, con una zona de subducción y cuerpos magmáticos emplazados en niveles superiores que generan áreas térmicas anómalas. Estas características de la Cordillera de los Andes, sumadas a las de las extensas regiones extracordilleranas de nuestro territorio, le confieren a nuestro país grandes posibilidades para el estudio y eventual aprovechamiento del recurso geotérmico de baja y de alta entalpía.

Figura N° 3
Mapa geotérmico mundial

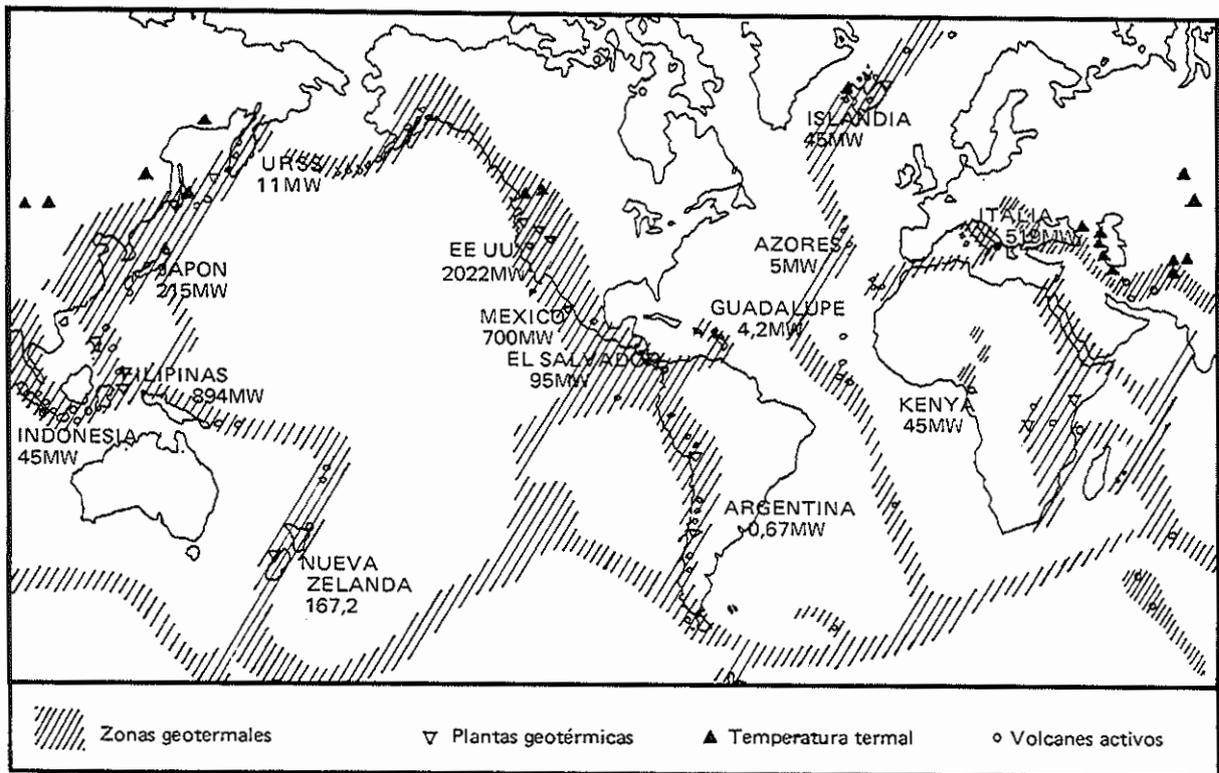
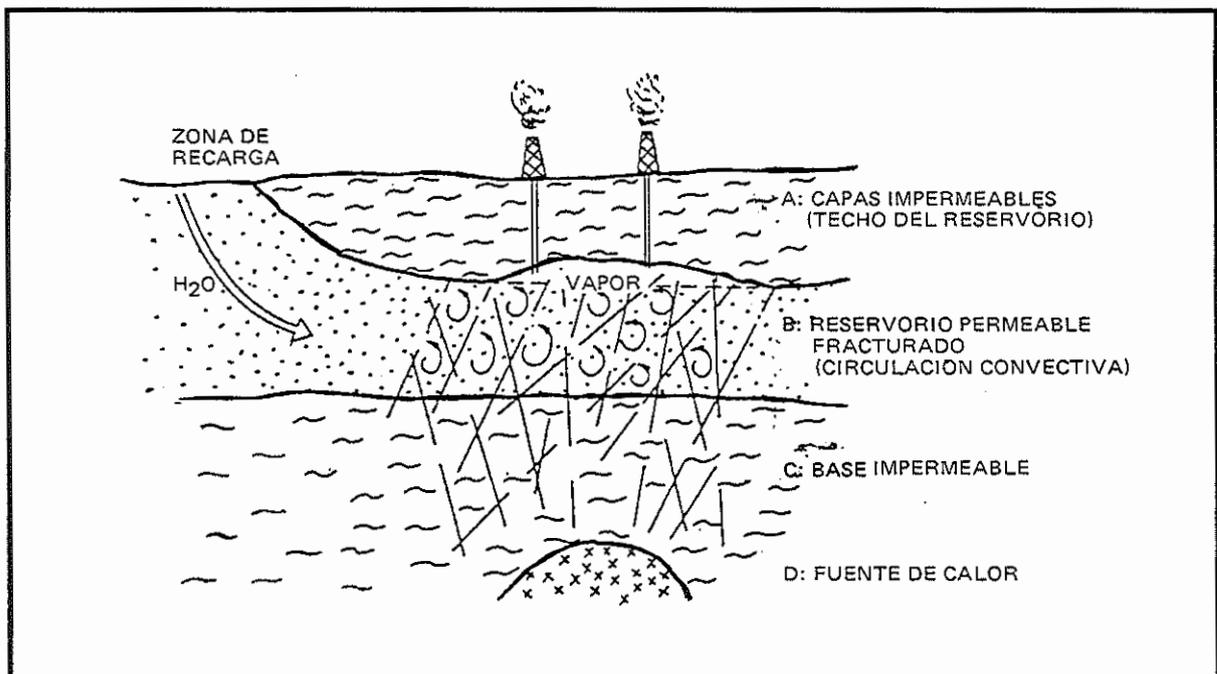


Figura N° 4
Esquema de un campo geotérmico



1.3

LOS CAMPOS GEOTERMICOS

Un **campo geotérmico** es fundamentalmente un sistema natural que permite la extracción de un fluido preexistente a alta temperatura.

Los elementos esenciales, o variables imprescindibles que determinan su conformación son:

- la existencia de una importante **fuentes de calor**;
- la presencia de formaciones geológicas que cumplan funciones de **reservorio** y permitan la **circulación de fluidos**;
- la existencia de un **área de recarga hídrica**; y
- la presencia de unidades o estructuras geológicas que actúen de **cubierta impermeable** y cierren el sistema para que se produzca la concentración del calor (figura 4).

En función de las temperaturas existentes en el reservorio, los campos geotérmicos se dividen, como se indicó, en campos de alta y de baja entalpía. En general, los primeros están vinculados al emplazamiento de un cuerpo magmático en niveles superiores de la corteza, en tanto que los segundos se vinculan con cuencas sedimentarias relacionadas con zonas fracturadas por donde ascienden las aguas que se calentaron por efecto de una anomalía térmica.

Si bien el calor, y el flujo geotérmico, se constituyen en los elementos primordiales de un campo susceptible de ser explotado, las unidades geológicas que constituyen el reservorio deben poseer características muy determinadas.

Así, el reservorio está constituido por formaciones geológicas capaces de contener agua en estado líquido o gaseoso, generalmente cargados de sales y gases diferentes. Su permeabilidad es de naturaleza litológica si se trata de rocas sedimentarias o bien originadas por fallas y fracturas.

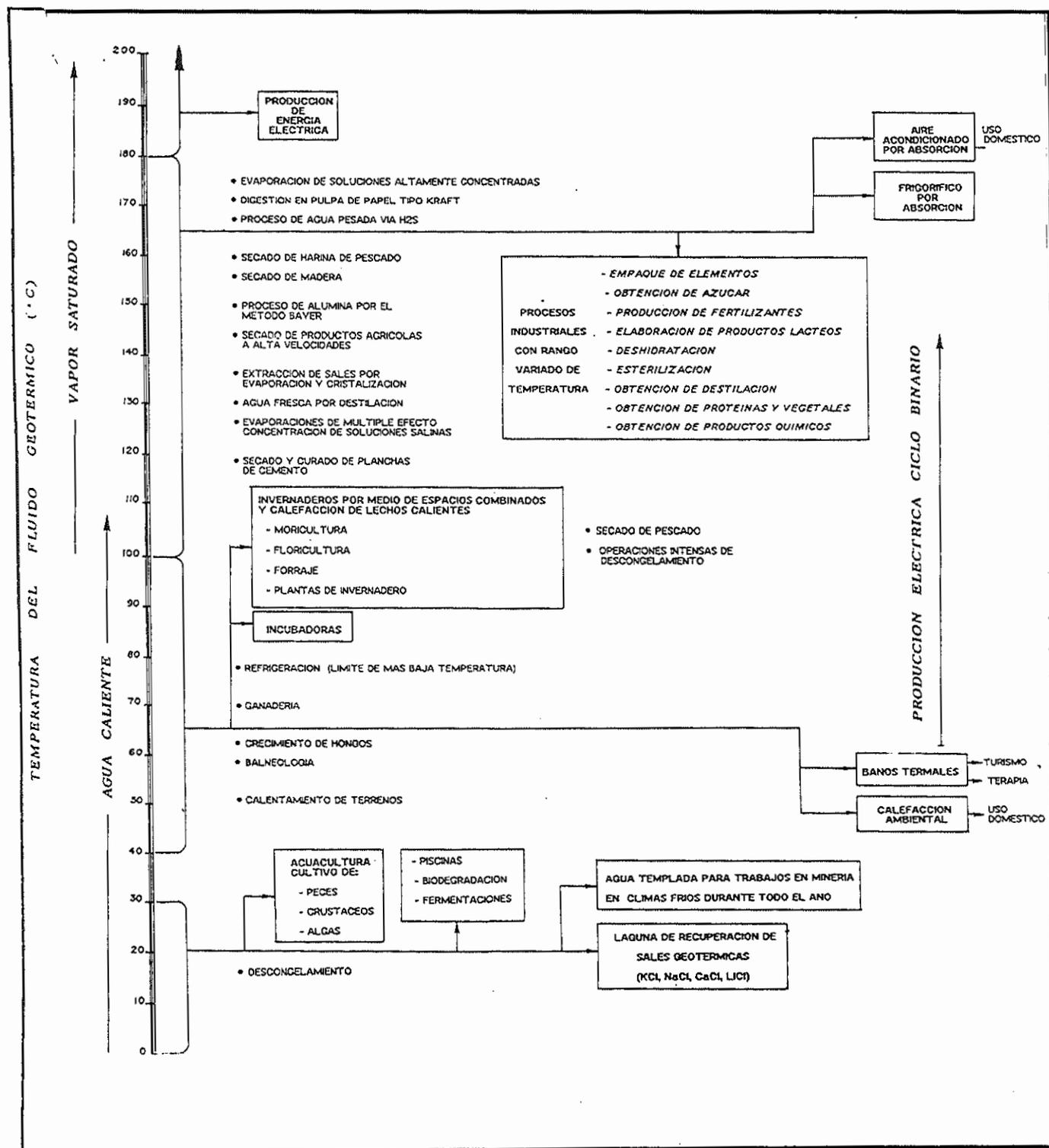
El primer tipo de reservorio (rocas sedimentarias) es el más frecuente en los yacimientos de baja entalpía en tanto que el segundo tipo, donde la tectónica tiene un papel más activo, se corresponde con los de alta entalpía.

En ambos casos se recuperan de ellos los fluidos geotermiales, es decir, el elemento propagador de la energía contenida en el yacimiento.

Elevados hacia las instalaciones de superficie, los fluidos se utilizan en procesos industriales, agrícolas y mineros o en la generación autónoma de electricidad (figura 5).

El estudio de los campos geotérmicos de alta y baja entalpía requiere estrategias de exploración diferentes pero, en general, la localización, caracterización y tipificación de los yacimientos se realizan mediante análisis que involucran varias de las especialidades cuya nómina, exhaustiva por cierto, es la siguiente: geología regional, estratigrafía, petrografía, volcanología, geotectónica, hidrología, hidrogeología, hidrogeoquímica, geotermometría, geoquímica de volátiles, relevamiento geoquímico (temperatura en profundidad, Hg, CO₂), técnicas isotópicas, geocronología, geofísica (gravimetría, sísmica, resistividad eléctrica, magnetometría telúrica y electromagnéticas), pozos de gradiente, estudios geocientíficos, perforación de pozos exploratorios profundos, ingeniería de reservorios y producción, transporte de fluidos, conservación de energía y diseño del sistema.

Figura N° 5
Utilización del fluido geotérmico según su temperatura



1.4

LOS PROYECTOS GEOTERMICOS

Un proyecto geotérmico tipo está constituido por dos partes principales: la primera comprende el conjunto de los estudios que integran la etapa exploratoria mientras que la segunda se orienta a la producción sistemática del fluido endógeno y su utilización industrial, y a las tareas de explotación del campo geotérmico. Desde el punto de vista práctico, un proyecto geotérmico tipo comprende cinco etapas distintas (figura 6):

1. Estudios de reconocimiento.
2. Estudio de prefactibilidad.
3. Estudio de factibilidad.
4. Desarrollo.
5. Explotación.

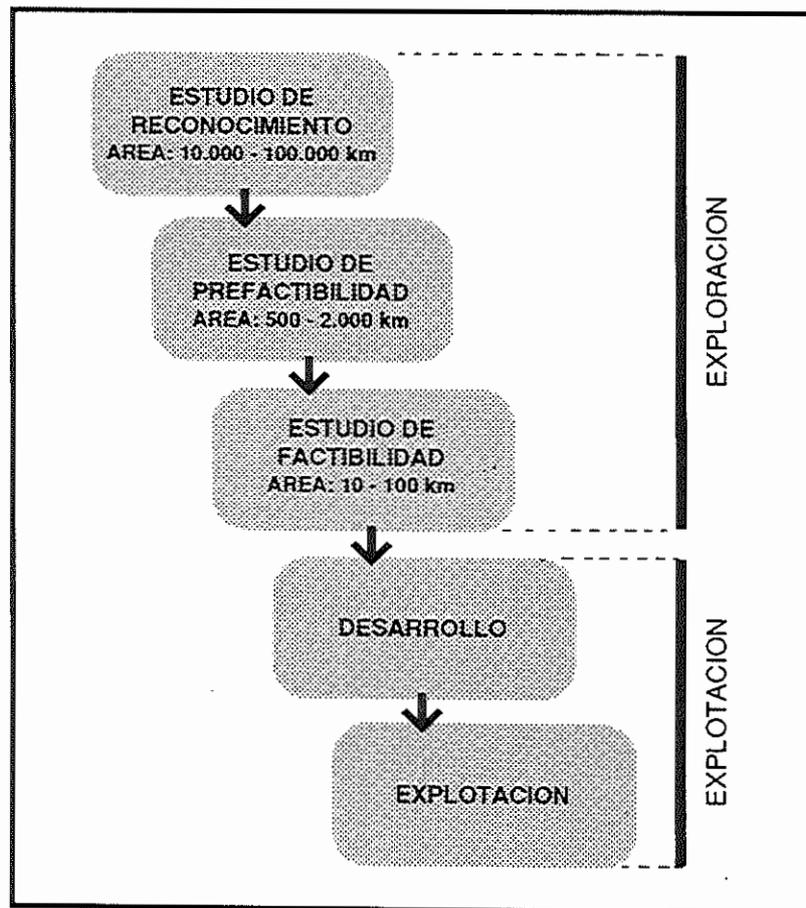


Figura N° 6
Principales etapas de explotación de un campo geotérmico de alta entalpía

1.5

LA ESTRATEGIA EXPLORATORIA

De las cinco etapas mencionadas, las tres primeras corresponden a la tarea exploratoria propiamente dicha. La estrategia exploratoria de los recursos geotérmicos se fundamenta en la ejecución de etapas sucesivas que, partiendo del reconocimiento geológico a escala regional llega hasta la factibilidad del proyecto final, requiriéndose para ello inversiones de capital sucesivamente crecientes y la aplicación de técnicas y metodologías más específicas y complejas a medida que va disminuyendo el riesgo minero. En base a este concepto global del esquema exploratorio se desarrollan los siguientes pasos:

1. Reconocimiento geológico.

Generalmente se realiza en zonas que comprenden 10.000 km² como mínimo. Su objeto es el de seleccionar las áreas de interés y elaborar el modelo geotérmico preliminar de cada una de ellas, así como los respectivos programas de exploración de detalle.

Se realiza aplicando estudios geológicos regionales a través de las disciplinas conexas.

2. Estudios de prefactibilidad.

Se realizan sobre áreas de 500 a 2.000 km². Su objeto es definir el modelo geotérmico para determinar la ubicación de los pozos de exploración.

La metodología a aplicar implica dos fases.

En la primera se ejecutan estudios de superficie que comprenden: el relevamiento geológico vulcanológico, tectónico y de las áreas de alteración. El relevamiento hidrogeoquímico de aguas frías y termales, geotermometría y estudios isotópicos, y el relevamiento geoquímico con mediciones en el suelo de temperatura con mercurio y anhídrido carbónico gaseoso.

En la segunda fase se realizan los estudios de subsuelo: prospecciones geofísicas (gravimetría, geoelectrónica, sísmica de reflexión y magnetotélurica y perforación de pozos de gradiente a profundidades medias de cien metros.

3. Estudios de factibilidad.

Se desarrollan en áreas de 10 a 100 km² de superficie. Su objeto es la evaluación del potencial geotérmico y definir preliminarmente los posibles sistemas de aprovechamiento mediante la perforación de pozos de exploración y la concreción de estudios geocientíficos, de la ingeniería de reservorios y del análisis técnico y económico de los posibles sistemas de utilización que pueden ser binarios o directos.

En las plantas de sistema binario el funcionamiento de la turbina responde, como en las turbinas convencionales de vapor de agua, al ciclo de Rankine, pero no es accionada por agua sino por un fluido orgánico activo secundario. La función del elemento hidrante, el vapor de agua y/o el agua caliente del reservorio, consiste, en este caso, en aportar el calor necesario para la vaporización del fluido secundario.

En el sistema directo, en cambio, se utiliza solamente el fluido geotérmico que surge del reservorio.

LA GEOTERMIA COMO UNA ENERGIA COMPLEMENTARIA

POTENCIAL Y UTILIZACION ACTUAL EN EL MUNDO

2.1

EVOLUCION HISTORICA DE LA GEOTERMIA

La utilización del agua termal por parte del hombre es tan antigua como la civilización misma. Los griegos y los romanos dejaron numerosos ejemplos de su aplicación en la calefacción urbana y en las tradicionales termas o baños públicos. A modo de ejemplo cabe recordar que en las importantes instalaciones de la Aeculapio, en la antigua Pérgamo en Asia Menor, la totalidad de los hospitales eran calefaccionados por el agua caliente proveniente de las termas, muy numerosas en la zona.

Los "hamams" turcos, nombre occidentalizado como "baños turcos" fueron inventados por los otomanos aprovechando las manifestaciones termales superficiales de la región de Anatolia que, en algunos casos superaban los 100°C de temperatura promedio.

La **Geotermia**, como forma de aprovechamiento de energía nace en el siglo XVIII en Italia. F. U. Hoefler, director de la farmacia del Ducat de Toscana, descubrió la presencia de ácido bórico en los condensados del vapor geotérmico que se desprendía naturalmente de los clásicos soffioni, manifestaciones endógenas de vapor, de la vecina región de Monterotondo. En 1818, Francisco Larderel comenzó la extracción del ácido bórico en una pequeña factoría que evaporaba el agua termal quemando madera. Años después, en 1827, se comenzó a utilizar el fluido termal propio, agua y vapor, de los soffioni, para evaporar el agua bórica. El paso siguiente fue perforar el terreno una decena de metros para recuperar directamente el vapor endógeno. El incremento de la producción dio lugar a que en el año 1835 fuesen ya numerosas las factorías existentes en la zona, tales como las de Castelnuovo, Sasso, Serrazano y otras, allí donde hoy existen grandes centrales eléctricas geotérmicas. Ya a principios del siglo XX se había desarrollado en la zona una activa industria química de amoníacos y derivados bóricos. Actualmente la colonia principal se denomina Larderello en homenaje a su fundador.

En el año 1904, el príncipe Piero Ginori Conti impulsa la construcción, en Larderello, de la primera central eléctrica geotérmica de 250 Kw. Entró en funcionamiento en 1913. Las experiencias continuaron y en 1940 se instalaron 25 Mw. A fines de la segunda guerra mundial las tropas alemanas, durante la retirada destruyeron por completo la central, los pozos y las cañerías. En la actualidad la potencia instalada es de 390 Mw en Larderello y 483 Mw en la región de Toscana que es de vapor seco.

Durante el quinquenio 1925/1930, los Estados Unidos, siguieron el ejemplo de Italia y, en la zona de géiseres de California donde se había descubierto vapor en un pozo de poca profundidad, se instaló una pequeña máquina de vapor que, conectada a una dinamo, produjo electricidad para un pequeño establecimiento termal. En los años 1960 se construyó la mayor central geotermoeléctrica del mundo de vapor seco, con una potencia actual instalada de 1792 Mw y un potencial probable de 2.000 megavatios.

El servicio vulcanológico de las Indias Holandesas, hoy Indonesia, comenzó, en el año 1926, un programa de investigación geotérmica en la isla de Java perforando una serie de pozos de varias decenas de metros en la zona de Kawah Kamojang. En 1978 el gobierno de Indonesia dio comienzo a la explotación del campo geotérmico a través de una central inicial de 0.25 Mw y construyendo una segunda de 30 Mw de vapor seco en el año 1982.

Tanto Nueva Zelanda como México iniciaron la producción de energía geotérmica en 1958. Desde esa fecha Nueva Zelanda tiene una potencia instalada de 167 Mw entre Wairakei y Kawerau, con vapor húmedo, estando en proyecto otros 118 megavatios. México construyó su primera planta de 3,5 Mw en Pathe, en el estado de Hidalgo. Actualmente, la central más importante es la de Cerro Prieto en Baja California, de 325 Mw, e inaugurada en 1973 y en la que se está construyendo una ampliación de 220 Mw adicionales. Además, los campos geotérmicos de Los Azufres en Michoacán y La Primavera de Jalisco, tienen un gran potencial geotérmico. México alcanza una producción geotérmica de 700 Mw con 115 Mw en construcción y 230 Mw en proyecto.

Japón se incorporó a la nómina de países productores de electricidad geotérmica en 1966 con la central de 22 Mw, de vapor seco, de Matsukawa. Construyó luego las de Otake (1967, 13 Mw), Onuma (1973, 10 Mw), Onikobe (1975, 13 Mw), Hatchobaru (1977, 55 Mw), Kakkonda (1978, 50 Mw) y Mori (1982, 50 Mw). En la actualidad tiene 215 Mw instalados.

Durante los años '70 varios países de América Central se incorporaron a la producción de electricidad geotérmica. Nicaragua y El Salvador, por ejemplo, lograron un balance energético positivo ya que cubren una parte importante de la demanda energética.

El caso más espectacular y reciente es el de las Islas Filipinas. La Unión Oil Company of California, con la colaboración de Energía Eléctrica de Filipinas consiguieron que un país que en 1976 no producía electricidad geotérmica tenga, en la actualidad y con sólo dos años de investigación, una potencia instalada de 894 megavatios. Esta cifra coloca a las Filipinas como el segundo país productor de electricidad geotérmica del mundo, desplazando a Italia que era, históricamente, el segundo país productor, después de los Estados Unidos.

Con referencia a la geotermia de baja entalpía sus valores son más difíciles de cuantificar en el tiempo y en el espacio debido a la extrema diversidad de sus aplicaciones. Por ejemplo en Islandia siempre se ha utilizado la geotermia como una forma de calor para la calefacción de ambientes habitacionales. Ya en 1930 se concretó en su capital, Reikiavik, un proyecto para suministrar calefacción a 70 casas, dos piscinas públicas, una escuela y un hospital. El éxito fue tan notable que el ayuntamiento decidió donar calefacción y agua caliente sanitaria a toda la ciudad. En 1943 eran 2300 los complejos habitacionales con suministro geotérmico y en 1975 se completó el 99% de los edificios de Reikiavik que posee una población de 90.000 habitantes.

En Francia son más de un centenar los pozos que entre 1.000 y 2.500 metros de profundidad suministran agua caliente geotérmica a núcleos residenciales de París, Toulouse, Aviñón, Strasbourg, Clemond Ferrand y otras ciudades, con una sustitución energética de 200.000 toneladas equivalentes de petróleo por año.

Hungría aprovechó tradicionalmente el recurso geotérmico de baja temperatura para invernaderos. En 1984, era calentada por agua caliente de 30 a 40°C, una superficie de unos dos millones de metros cuadrados. (200 hectáreas)

Existen obviamente, muchos más ejemplos de la aplicación práctica eficiente de la energía geotérmica pero se puede agregar, a modo de resumen, que en Europa se utilizan unos 8.000 Mw térmicos para calefaccionar ambiente habitables e invernaderos y en el suministro de energía a procesos industriales.

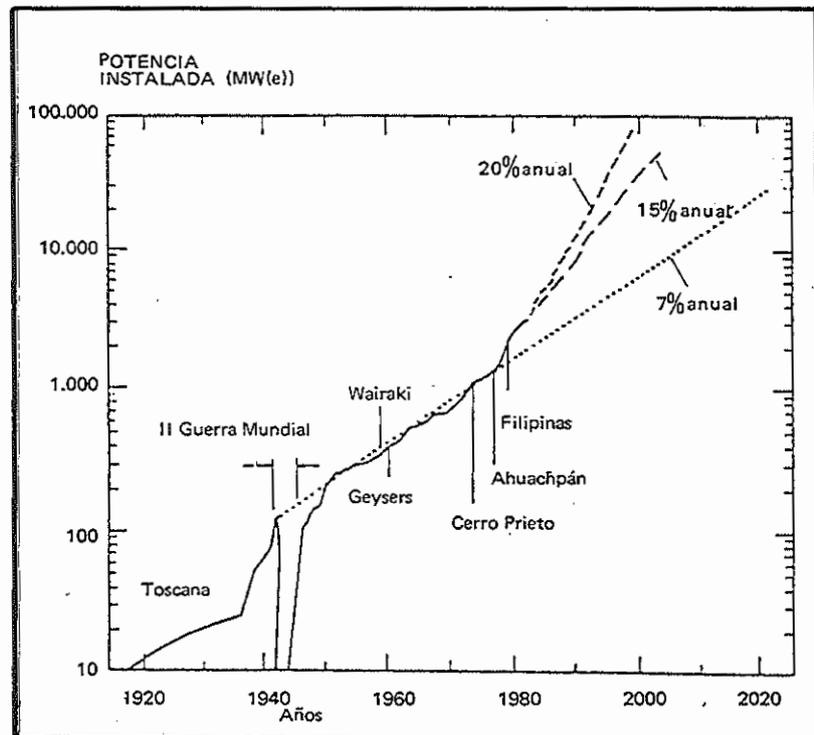
2.2

LA POTENCIA INSTALADA

2.2.1 Geotermia de alta entalpía

La tendencia evolutiva de las potencias instaladas acumuladas para generar energía eléctrica a partir del vapor geotérmico (figura 7) muestra un crecimiento del orden del 7% anual, lo que implica duplicar la potencia instalada cada diez años. El fuerte incremento registrado entre los años 1979 y 1985 (Tabla 1) es debido al caso de las Islas Filipinas anteriormente comentado y a la inercia del "empujón" dado por la crisis energética. Ese incremento, de mantenerse habría permitido llegar a un incremento del 15 al 20% anual. Una de las últimas estadísticas publicadas sobre potencia geotérmica instalada corresponde a 1990 (Tabla 2). Como es posible observar, son numerosos los países que han apostado por estos tipos de energía autóctona.

Figura N° 7
Evolución de la Producción de origen geotérmico
(L. Eduard et al, 1982)



La geotermia juega un rol minoritario en el conjunto de la demanda energética mundial. Los 4.766 Mw instalados en 1985 representaron el 0,24% de la potencia eléctrica total del mundo estimada en dos millones de megavatios.

Los países industrializados absorben decenas o centenas de miles de megavatios en su demanda eléctrica. La energía geotermoeléctrica nunca podrá cubrir más que unos cuantos puntos de ese porcentaje. Sin embargo, en algunos países en vías de desarrollo y que cuentan con una estructura geológica favorable, la geotermia ya está cubriendo una importante parte de la demanda eléctrica nacional. La geotermia es una energía complementaria mucho más de lo que puede ser la solar o la eólica, tanto por la potencia unitaria instalada como por la contribución energética total que puede llegar a cubrir en un país determinado.

Tabla 1

CRECIMIENTO DE LA POTENCIA GEOTERMOELÉCTRICA INSTALADA DURANTE LOS AÑOS 1979 - 1985

| AÑO | MW(e) instalados |
|---------------|------------------|
| Final de 1979 | 1.759 |
| Final de 1980 | 2.110 |
| Final de 1981 | 2.493 |
| Final de 1982 | 2.559 |
| Final de 1983 | 3.190 |
| Final de 1984 | 3.770 |
| Final de 1985 | 4.766 |

2.2.1.1 Desarrollo geotérmico entre 1985-1990

La capacidad geotermoeléctrica instalada a nivel mundial a enero de 1990 fue de 5.852,87 MW. de los cuales casi la mitad estaban instalados en Estados Unidos (2.777 MW), alrededor de 15,2 % en Filipinas con 891 MW y el 12 % en México con 725 MW (Tabla 2).

En 1985 la capacidad geotermoeléctrica total fue de 4.766 MW por lo que se registró un incremento global de casi 23%, equivalente a poca menos del 4,3% anual promedio.

Este ritmo de crecimiento resulta más bien bajo, si se toma en cuenta que en el lustro precedente la capacidad geotermoeléctrica pasó de 2,110 MW. en 1980 a 4.766 MW. en 1985, con un incremento del 126%.

Es decir, entre 1980 y 1985 esa capacidad a nivel mundial, en promedio, creció más en un sólo año que en todos los cinco años que van de 1985 a 1990.

Sin embargo, el 23% de incremento que tuvo la

Tabla 2**CAPACIDAD GEOTERMOELÉCTRICA
INSTALADA EN EL MUNDO
ENTRE
1985 - 1990**

| PAIS | 1985 MWe | 1990 MWe | INCREMENTO % |
|--------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| EST. UNIDOS | 2.022,1 | 2.777,0 | 37,3 |
| FILIPINAS | 894,0 | 894,0 | 0 |
| MEXICO | 645,0 | 700,0 | 8,5 |
| ITALIA | 519,2 | 545,0 | 5,0 |
| N. ZELANDA | 167,2 | 293,0 | 75,4 |
| JAPON | 215,1 | 215,0 | 0 |
| INDONESIA | 32,2 | 142,0 | 343,8 |
| EL SALVADOR | 95,0 | 95,0 | 0 |
| KENIA | 45,0 | 45,0 | 0 |
| ISLANDIA | 39,0 | 45,0 | 15,4 |
| NICARAGUA | 35,0 | 35,0 | 0 |
| CHINA | 14,3 | 21,0 | 50,0 |
| TURQUIA | 21,0 | 20,0 | 0 |
| UNION SOVIETICA | 11,0 | 11,0 | 0 |
| INDIA | 5,0 | 5,0 | 0 |
| GUADALUPE (FRANC.) | 4,2 | 4,2 | 0 |
| AZORES (PORTUGAL) | 3,0 | 3,0 | 0 |
| TAIWAN | 3,0 | 3,0 | 0 |
| MILOS (GRECIA) | 2,0 | 2,0 | 0 |
| ARGENTINA | 0 | 0,67 | - |
| TAILANDIA | 0 | 0,3 | - |
| TOTALES | 4.772,3 | 5.852,87 | 22,7 |

geotermoelectricidad en el último lustro es superior al crecimiento que sufrió la capacidad eléctrica total en el mismo lapso, considerando los mismos países que aparecen en la Tabla 2, la cual creció sólo en un 16%.

En la misma Tabla 2 puede apreciarse que el país que tuvo el incremento más importante en cuanto a su capacidad geotermoeléctrica instalada fue Indonesia, país que pasó de 32 MW en 1985 —ocupando el duodécimo lugar en aquel año— a 142 MW en 1990, saltando ahora al séptimo lugar mundial en este rubro.

Otro país con un crecimiento notable fue Nueva Zelanda, con un 75%; si se considera que la capacidad eléctrica total en este país creció en ese mismo lapso de tiempo apenas un 7,2 %, se verá que el crecimiento geotermoeléctrico fue más de diez veces mayor. En cambio en México la capacidad geotermoeléctrica actual es de 725 MW, para enero de 1990 y el incremento registrado en este rubro fue de apenas un 8,5 % en los mismos cinco años precedentes; este incremento es bastante menor (menos de una tercera parte) al de la capacidad eléctrica instalada en todo el país, el cual fue en el mismo periodo del 27 %.

Es notable también el hecho de que, de los 21 países que reportaron algún tipo de aprovechamiento geotermoeléctrico a enero de 1990, sólo 7 —es decir, el 33 %— registró algún incremento en su capacidad instalada entre 1985 y 1990, habiendo permanecido la mayoría sin cambios (si bien no se presentaron datos de Taiwán). Al contrario hay datos como el de Grecia, cuya planta en la isla de Milo no genera electricidad desde hace tiempo, aunque continúa reportándose como capacidad instalada, y como Portugal y Argentina, cuyas instalaciones en las Islas Azores y Copahue no han funcionado rutinariamente. Todo ello implica que, a nivel mundial, la geotermoelectricidad ha sufrido un freno en su ritmo de crecimiento, al resultar éste cinco veces menor en el último lustro que en el lustro precedente.

La situación no resulta más favorable si se analiza la generación efectiva de electricidad a partir de la capacidad geotermoeléctrica instalada, con respecto a la generación total de electricidad. En la tabla 3 se incluye la generación de electricidad en 1989 para los países incluidos en la tabla 2 (a excepción de los que no reportaron este dato), la generación geotermoeléctrica efectiva en ese mismo año, así como el porcentaje que representa ésta con respecto al total. Puede tomarse que, salvo los casos de Filipinas, El Salvador y Kenia, donde la electricidad de origen geotérmico equivale en cada caso a más del 10 % de la electricidad total producida, en todos los demás casos la participación de la geotermia es más bien modesta, lo cual refleja el también modesto crecimiento de la capacidad geotermoeléctrica instalada.

Por otra parte, el orden de la Tabla 3 en función del mayor porcentaje de la generación geotermoeléctrica con respecto a la generación eléctrica total en cada país, se observan cambios interesantes con relación al orden de la Tabla 2: los tres primeros lugares son ocupados por países de escaso desarrollo, desplazándose los países altamente desarrollados a las porciones medias de la tabla.

Estos cambios de orden se explican si se tiene en cuenta que la geotermoelectricidad, basada en la explotación de yacimientos hidrotermales de alta entalpía por ciclo directo, sólo puede tener un peso específico importante en la generación eléctrica total en aquellos países cuya demanda global de electricidad es pequeña en términos absolutos. Tales países son los de menores dimensiones físicas y demográficas, pero sobre todo con un nivel de desarrollo menor y un

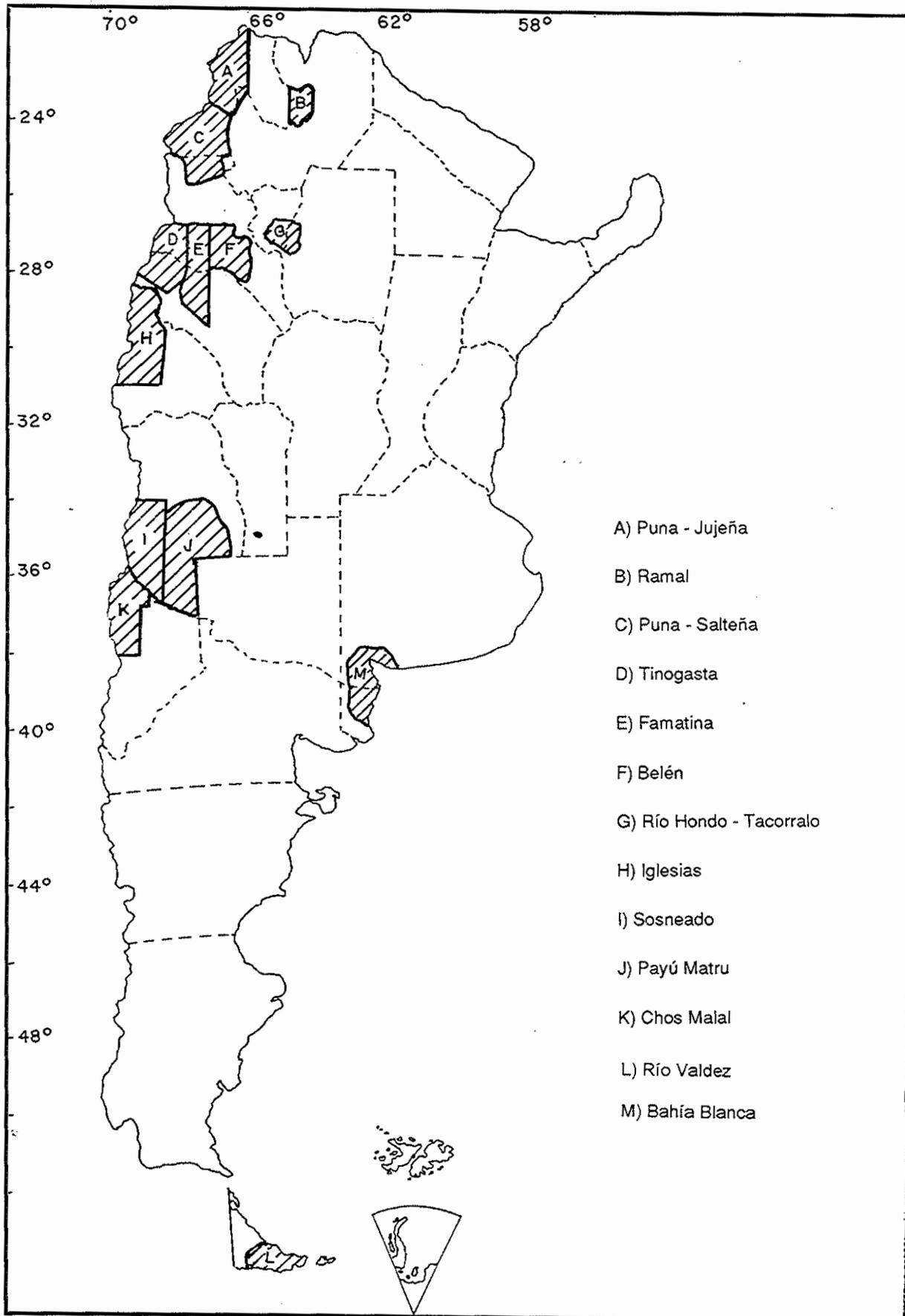
Tabla 3.**GENERACION TOTAL DE ELECTRICIDAD Y
GENERACION GEOTERMoeLECTRICA**

| PAIS | Generación (GWh/año) | | Porcentaje del Total |
|---------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| | TOTAL | GEOTERMoeLECTRICA | |
| - FILIPINAS | 28.400 | 6.730 | 23,7 |
| - EL SALVADOR | 2.178 | 373 | 17,1 |
| - KENIA | 2.686 | 348 | 13,0 |
| - N. ZELANDA | 28.950 | 2.000 | 6,9 |
| - ISLANDIA | 4.475 | 260 | 5,8 |
| - MÉXICO | 105.905 | 4.661 | 4,4 |
| - ITALIA | 203.220 | 3.150 | 1,6 |
| - E.UNIDOS | 2.467.000 | 8.000 | 0,3 |
| - JAPÓN | 643.759 | 1.359 | 0,2 |
| - U.SOVIÉT. | 1.772.076 | 26 | <0,1 |
| - FRANCIA | 146.620 | 20 | <0,1 |
| - TURQUÍA | - | 68 | - |
| - CHINA | - | 50 | - |
| - GRECIA | 31.702 | 0 | - |
| - TAILANDIA | 35.097 | 0 | - |

Nota.- Las cantidades indicadas se refieren al año de 1989

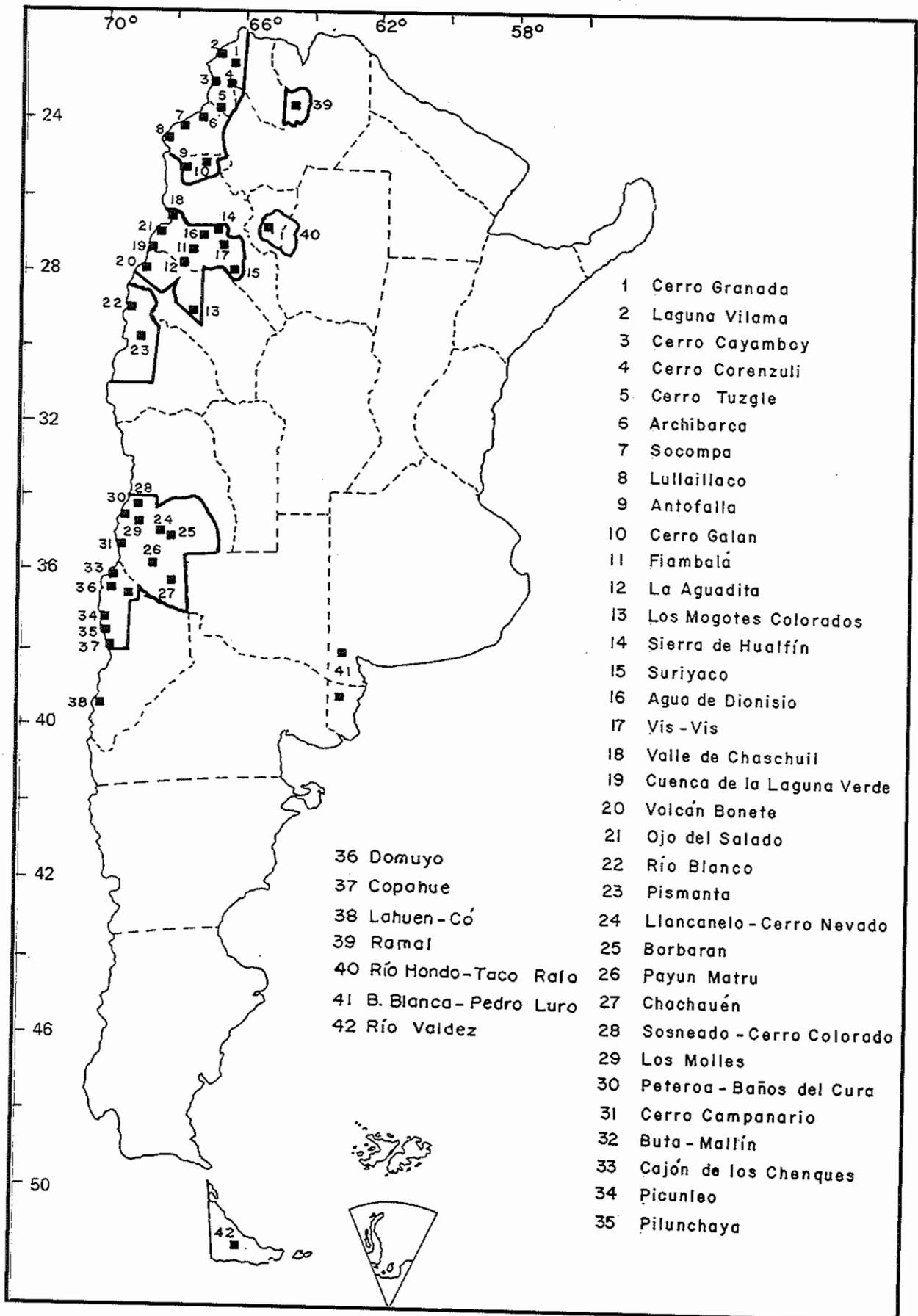
Mapa N° 1

EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA Zonas geotérmicas con estudios de reconocimiento



Mapa N° 2

EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA Áreas de interés geotérmico



Mapa N° 3

EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA
Estudios de prefactibilidad - Estudios realizados

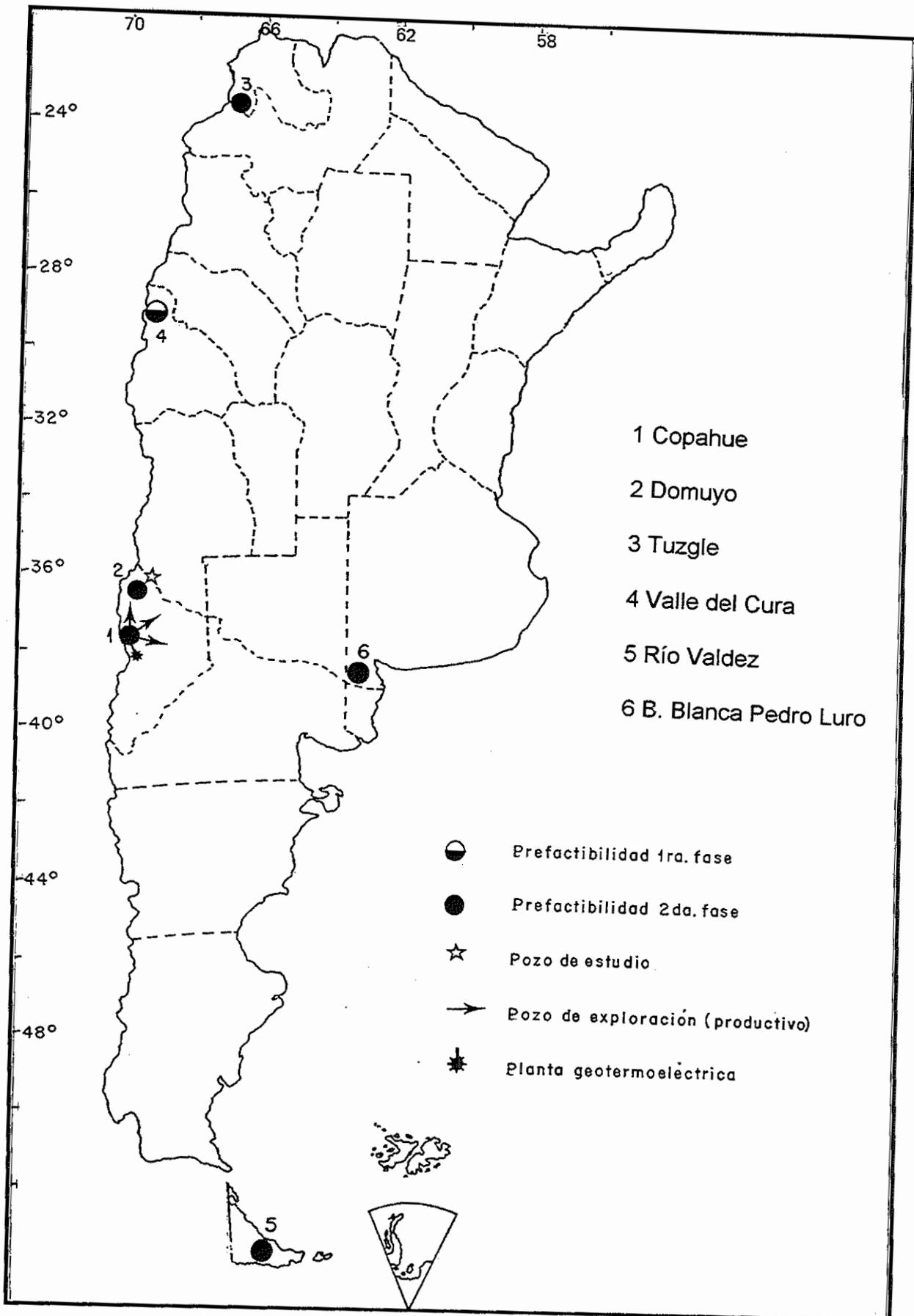
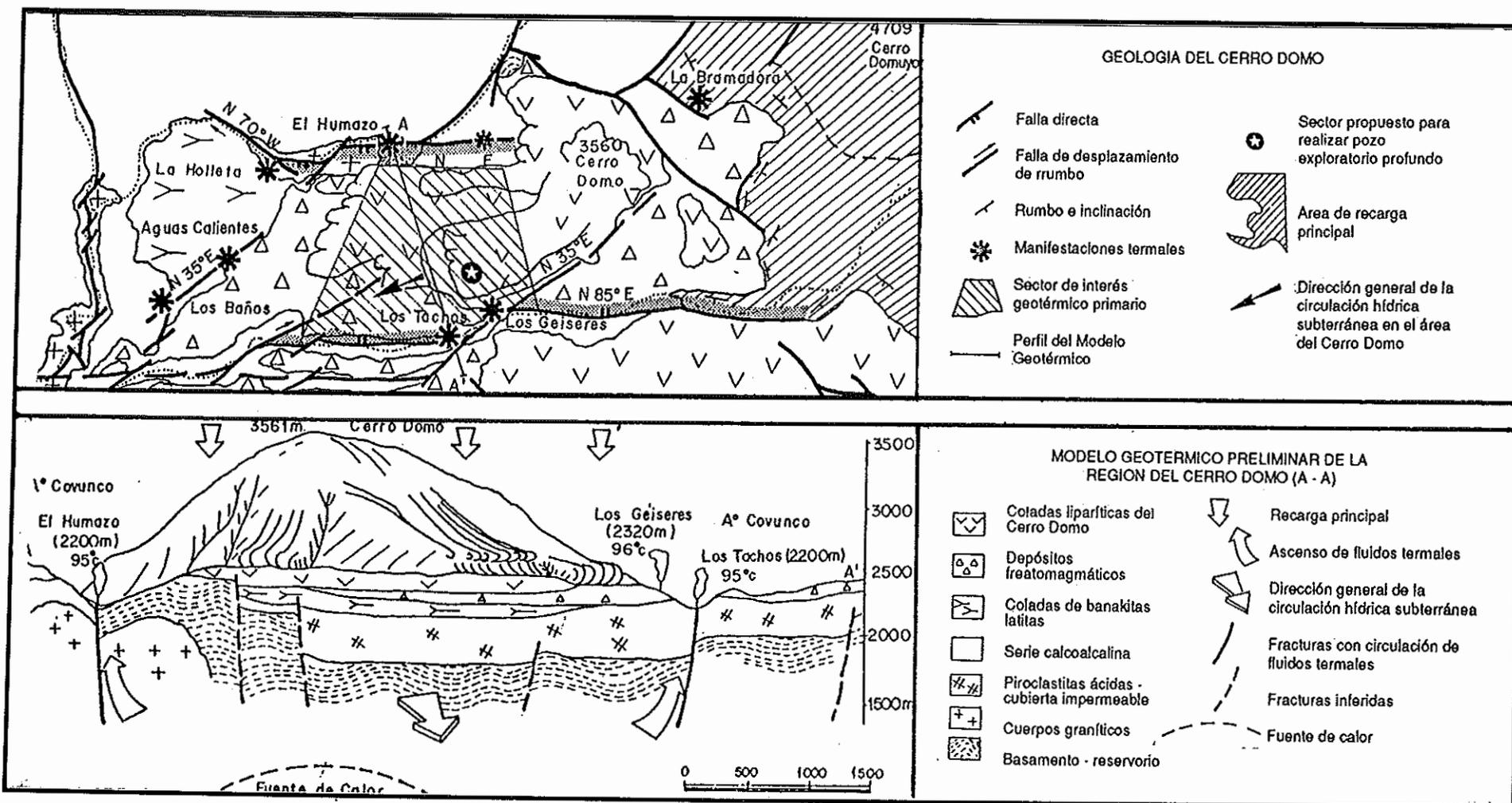


Figura N° 8
CAMPO GEOTÉRMICO DOMUYO.
 Sector de Interés geotérmico principal y modelo geotérmico preliminar



ratura de 218 a 226°C a agua-domiante de 186 a 190 grados centígrados.

En el campo geotérmico Copahue fue puesta en funcionamiento, el 5 de abril de 1988, una central geotérmica piloto que genera energía eléctrica mediante el empleo de vapor de agua del subsuelo.

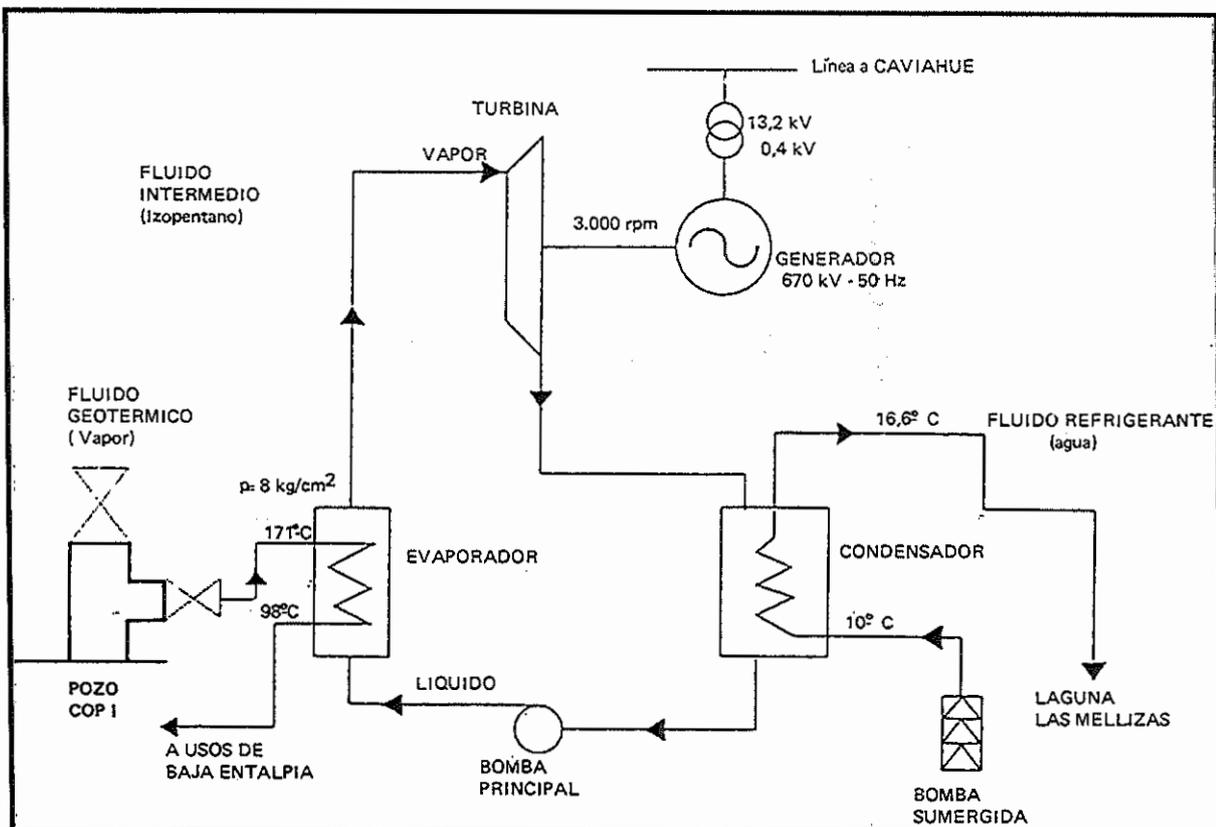
Funciona mediante un ciclo binario utilizando isopentano como fluido de trabajo intermedio. La planta es portátil ya que es fácilmente desmontable.

Actualmente está emplazada sobre la boca del pozo productor de vapor ubicado a dos kilómetros de Copahue cuya perforación se realizó en el año 1976 y que fue reperforado en 1981 a 1415 metros.

El reservorio hidrotermal se encuentra comprendido entre los 850 y los 1000 metros generando un fluido geotérmico a 6,7 tn-hora de vapor saturado. La central tiene una potencia de 670 kw nominales, entregando electricidad a la línea de 13,2 kv Caviahue-Copahue de 10 Km. de extensión y que es subsidiaria de la línea de 33 kv Caviahue-Loncopué de 50 Km. de largo que se une al sistema interconectado provincial de 132 kilovatios.

La central, ubicada a 2000 m s.n.m. presenta el siguiente esquema básico de funcionamiento: el vapor geotérmico que sale a 6,7 ton-hora y 171°C entra al precalentador y vaporiza el isopentano que a su vez hace funcionar a la turbina del generador a 3000 rpm y entregando 670 kw (figura 9). El isopentano continúa hasta el condensador donde es enfriado para reiniciar el ciclo.

Figura N° 9
PLANTA GEOTÉRMICA DEMOSTRATIVA - 670 kW
Copahue - Provincia de Neuquén (Argentina) Ciclo Binario



LAS LINEAS DE ACCION PRIORITARIAS

3.1

INTRODUCCION

Las líneas de investigación y desarrollo deben estar dirigidas para poder concretar una satisfactoria explotación de los recursos geotérmicos.

Su objetivo general tiene que apuntar a la utilización de los recursos geotérmicos de alta y baja entalpía para el desarrollo de las economías regionales.

En lo inmediato, el acento debe darse en la investigación de las distintas zonas del país para evaluar sus recursos naturales y detectar las áreas geotérmicas con mayor grado de importancia económica y establecer su futuro aprovechamiento.

Su explotación mejorará las condiciones económicas y sociales de las comunidades y productores rurales.

De esta forma se contribuye al desarrollo regional a partir de una eventual utilización del fluido en procesos industriales, agrícolas o mineros o bien en la generación autónoma de energía eléctrica.

3.2

OBJETIVOS

El énfasis y las mayores acciones en el lineamiento a seguir en los planes de desarrollo para el aprovechamiento de la energía geotérmica de alta y baja entalpía deben estar puestos en el aprovechamiento económico del recurso mediante las siguientes líneas de actividades, estudios y proyectos:

- Estudios de áreas geotérmicas para determinar las características de los campos geotérmicos.
- Estudio socio-económico de la región de influencia con especial atención en las actividades regionales a fin de identificar emprendimientos económicamente factibles.
- Análisis de emprendimientos económicos de instalaciones industriales, agrícolas o mineras, que requieran consumo constante o estacional de energía calórica.

- Selección de las áreas que reúnan las condiciones más apropiadas para la elaboración de anteproyectos demostrativos de suministro de fluido geotérmico, con sus distintas alternativas de aplicación.
- Realización del estudio de factibilidad en la o las regiones seleccionadas para definir las aplicaciones a realizar demostrando su viabilidad económica.
- Definición de un cuerpo normativo apropiado que permita regular el uso de los recursos geotérmicos.
- Realización del proyecto, instalación y puesta en marcha del equipamiento para el aprovechamiento geotérmico con participación de la actividad privada.
- Selección de criterios y medios (equipos) necesarios para el monitoreo de la o las instalaciones demostrativas.
- Transferir a la actividad privada la explotación del recurso geotérmico.

LA EXPLOTACION DE LA GEOTERMIA DE BAJA ENTALPIA

4.1

INTRODUCCION

En términos generales la explotación del recurso geotérmico de baja entalpía en emprendimientos económicos se ha mantenido, dentro del contexto global de la energía geotérmica, postergado en cierta medida.

Teniendo en cuenta la amplia distribución geográfica de las áreas de baja entalpía en importantes regiones del país (mapa 4), y que las líneas de investigación y desarrollo están dirigidas a incrementar su desarrollo económico, resulta importante establecer el grado de compatibilidad del recurso con la demanda de energía y las ventajas que ofrece en relación con otras fuentes energéticas locales.

De este modo se podrá definir un modelo que establezca los límites económicos del aprovechamiento de las aguas termales en complejos integrados por variados tipos de uso industrial de recursos geotérmicos en la fase de exploración.

4.2

TECNICAS DE APLICACION DE LAS FUENTES DE BAJA ENTALPIA

4.2.1

Alcance de la potencia de la energía geotérmica

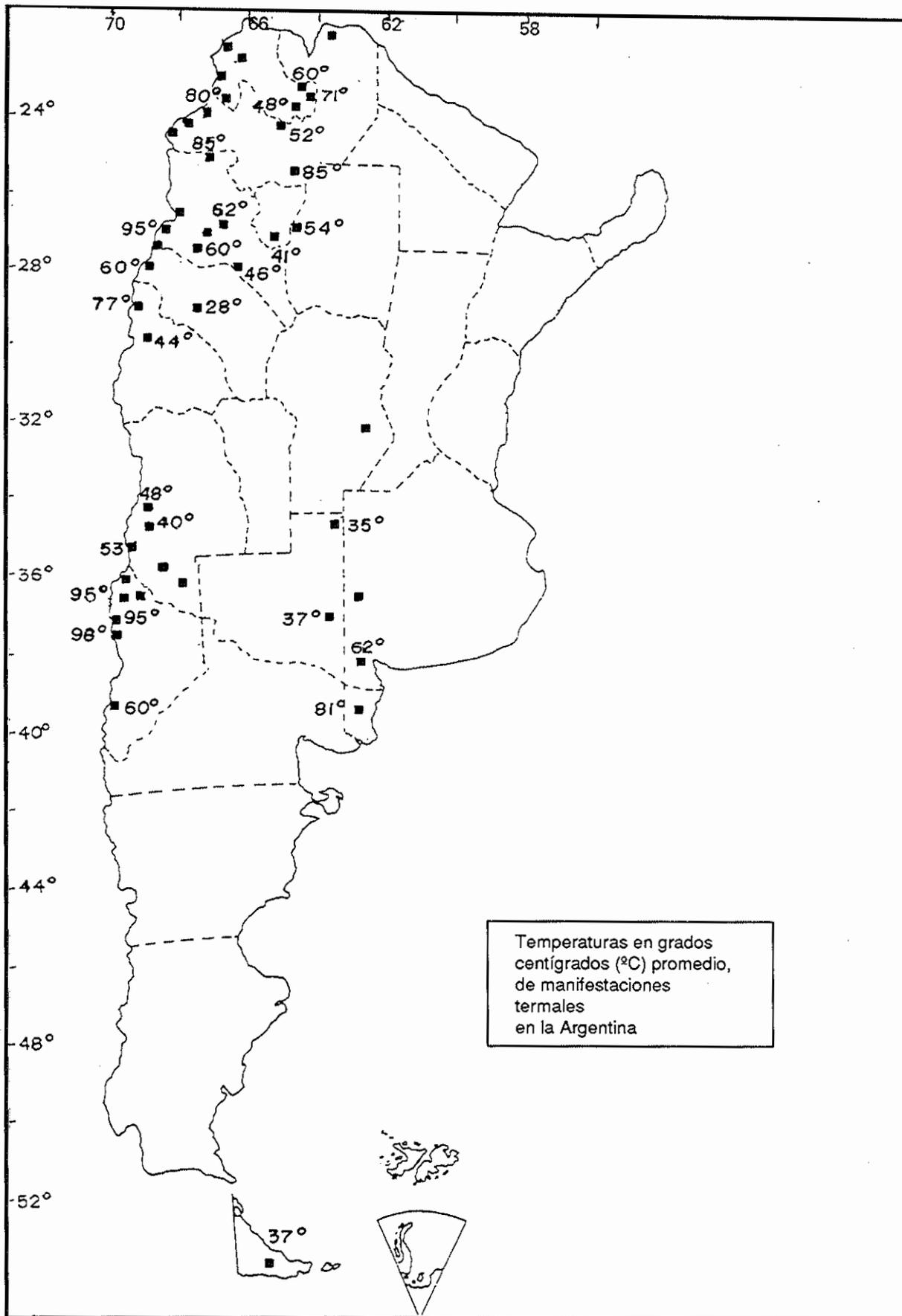
Para la instalación de plantas de energía geotérmica se deben considerar las necesidades tanto de temperatura como de potencia de los centros receptores de energía. Ambos elementos definen la demanda que puede ser cubierta mediante la aplicación de energía geotérmica de baja temperatura.

La demanda de energía térmica fluctúa en función del tiempo, de manera diferente, según las características de cada sistema consumidor de energía. Así, ciertas instalaciones tienen una demanda energética constante a lo largo del año como las aplicaciones de tipo industrial, en tanto que otras presentan fluctuaciones periódicas, esencialmente estacionales y ligadas al clima del lugar. Es el caso de los invernaderos y la calefacción de habitaciones de vivienda.

Para ilustrar los estudios necesarios a cumplimentar para el caso de la existencia de una fluctuación periódica de la demanda energética, puede tomarse como ejemplo la calefacción de una vivienda.

Mapa 4

EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA Áreas de interés geotérmico



4.2.2 Instalaciones geotérmicas con intercambiadores de calor

4.2.3 Instalaciones geotérmicas con bomba de calor

En primer lugar se deben definir los siguientes conceptos:

- **Potencia máxima.** Es la potencia que ha de suministrarse para mantener la temperatura de los locales a un nivel prefijado (16 a 20°C) en las condiciones climáticas más adversas, caracterizada por la "temperatura exterior de base", variable según la zona considerada.

- **Consumo medio de energía.** Depende de la variación estacional de temperatura de la región considerada. Estas variaciones están caracterizadas por la "curva monótona", que puede definirse en base a estadísticas meteorológicas y que varía para cada zona climática considerada. La curva indica el número de días durante los cuales la temperatura exterior es inferior a un cierto valor. Este es, básicamente, el concepto de grado-día de calefacción, concepto que se puede definir para un determinado período de tiempo.

- **Consumo total de una vivienda.** Se calcula a partir del número de grados-día y de las características de la vivienda.

La curva monótona permite, de inmediato, determinar la cantidad de calor a suministrar en un local dado que esta cantidad es proporcional a la diferencia de temperatura entre la interior, que es fija, y la exterior que es variable. De ese modo, el área total limitada por la curva dará el consumo total de la energía de un sistema.

En el caso de un lugar habitable la potencia máxima de calefacción se calcula de modo de mantener la temperatura interior de los locales a nivel deseado, en las condiciones climáticas más desfavorables caracterizadas por la temperatura exterior de base.

Quando la salinidad de los fluidos termales es alta la explotación se lleva a término mediante un doble pozo (extracción e inyección). Con este método de explotación el calor de la fuente geotérmica es transferido mediante un "intercambiador de calor".

El funcionamiento de este tipo de instalación es muy sencillo. A la salida del pozo de agua, que tiene una alta concentración de sales, cede su calor al circuito secundario a través del intercambiador de calor. En el circuito secundario la caldera de refuerzo suministra la energía necesaria cuando la temperatura del agua es inferior a un valor prefijado.

La función básica del intercambiador consiste en permitir el intercambio de calor entre el fluido geotermal, salino y corrosivo, y el que circula por el circuito secundario donde se encuentra el sistema de refuerzo compuesto de caldera, bomba de calor u otros elementos. De esta forma por el circuito secundario circulará un fluido de buena calidad química.

El único problema que se presenta es el de la corrosión metálica en el circuito primario. Si el fluido geotermal circulante es agresivo, el circuito debe ser construido con hierro con aleaciones de titanio, resinas con fibra de vidrio u otras aleaciones especiales.

La bomba de calor presenta la ventaja de trabajar con temperaturas de producción más bajas y aumentar la temperatura a la entrada de los sistemas emisores de calor. Para temperaturas de fluidos termales inferiores a 60-70°C es posible utilizar la bomba de calor para tratar de mejorar el rendimiento de la instalación.

4.3

APLICACIONES DE LA GEOTERMIA EN LA CALEFACCION Y EN EL SUMINISTRO DE AGUA CALIENTE SANITARIA

De acuerdo con lo expresado los diferentes esquemas de instalaciones geotérmicas de baja entalpía se pueden resumir en tres tipos de sistemas:

- Calefacción con intercambiador de calor entre el fluido geotérmico y el fluido de calentamiento de las viviendas.
- Calefacción con intercambiador de calor entre el fluido geotérmico y el fluido de calentamiento de las viviendas con un sistema energético de refuerzo.
- Calefacción mediante la utilización de la bomba de calor con un sistema energético de refuerzo.

En el caso de la instalación con intercambiador y sistema de calor de refuerzo (caldera de gas, electricidad, fuel oil, etc.) el elemento de refuerzo suministra energía en los períodos de bajas temperaturas cuando la potencia demandada es alta. Durante la mayor parte del año, esta potencia solicitada es inferior a la mitad de la potencia máxima, entrando en funcionamiento el sistema de refuerzo tan solo en un 30% del período total de calefacción.

En el caso de la instalación geotérmica con bomba de calor y energía de refuerzo, se establece el aporte de cada fuente energética de acuerdo a las necesidades de calefacción. Cabe acotar que para demandas de potencia alta, que se corresponden con temperaturas exteriores bajas, la contribución de la bomba de calor es nula por lo que entra en funcionamiento la caldera de refuerzo.

Para cada uno de los tipos de sistemas señalados debe establecerse un cálculo de optimización, el que determinará la repartición del suministro de energía calórica necesario a la instalación, entre la energía geotérmica y de las diversas energías de refuerzo (electricidad, fuel oil, gas, carbón, etc.).

El cálculo de optimización dependerá de las características de la producción geotérmica (temperatura, caudal), del número de viviendas, del sistema de calefacción a emplear, de la temperatura del agua de retorno y de las condiciones climáticas locales. Se trata, en definitiva, de ajustar para cada instalación, la potencia disponible del sistema geotérmico y la potencia solicitada, teniendo en cuenta que la instalación geotérmica debe ser utilizada el mayor número de horas posible ya que representa una importante inversión.

4.3.1 Sistemas de emision de calor

La potencia disponible en la fuente de energía geotérmica es proporcional al caudal del fluido geotérmico y a la diferencia entre las temperaturas de producción e inyección. Por eso la temperatura de retorno de los sistemas emisores de calor, es un parámetro importante en toda instalación de energía de origen geotérmico.

Los sistema de emisión de calor se pueden agrupar en dos grandes categorías:

- Calentamiento por tierra
- Calefacción por radiadores

Dado que los emisores de baja temperatura permiten la plena utilización de fuentes geotérmicas de baja entalpía (con temperaturas del fluido geotermal de 50 a 100°C) se pueden establecer tres tipos de soluciones, utilizando:

4.3.2 Suministro de agua caliente sanitaria

- Radiadores térmicos sobredimensionados
- Convectores
- Tierra radiante

La calefacción por tierra radiante puede llegar a trabajar con temperaturas más bajas (35°C a la llegada y 28°C a la salida para una temperatura exterior mínima de 7°C) mientras que la calefacción por radiadores puede funcionar a 70°C y 50°C a la llegada y salida respectivamente.

Las necesidades anuales de agua caliente sanitaria son evaluadas generalmente en 50 m³ por habitantes a 50-55°C. El volumen de agua varía según la categoría de las viviendas. Este consumo corresponde a un valor de 0,3 a 0,4 TEP por año. Cabe considerar que en el diseño de una instalación geotérmica para el suministro de agua caliente sanitaria, el consumo es constante a lo largo de todo el año pero fuertemente variable a lo largo del día.

4.4 APLICACIONES AGRICOLAS INDUSTRIALES

4.4.1 La calefacción de invernaderos

Así como la mayor parte de las industrias tienen una demanda de calor a una temperatura elevada, son también numerosas las aplicaciones que en el campo de la agricultura pueden ser alimentadas con agua caliente a temperaturas más bajas.

De todas las aplicaciones posibles de la energía geotérmica en la agricultura en este trabajo sólo se hará referencia a la calefacción de invernaderos para uso de agricultura intensiva.

La demanda energética de los invernaderos para usos agrícolas alcanza valores elevados.

En España, por ejemplo, para cultivos florales se utilizan unas 400 toneladas de fuel-oil por hectárea y como valor medio para los meses de octubre a julio. La superficie de explotación varía desde unas pocas hectáreas hasta varias centenas siendo de veinte hectáreas aproximadamente la extensión que es susceptible de ser calefaccionada en forma rentable con energía geotérmica. La temperatura requerida varía según el tipo de cultivo pero la más usual oscila entre los 35 y los 60 grados centígrados.

Una particularidad de los invernaderos en relación a la calefacción convencional es su baja inercia térmica.

Las necesidades energéticas mayores se concentran durante la noche mientras que durante el día son más reducidas, dado que dependen del grado de insolación. En algunos casos sólo una pequeña cantidad de energía que se entregue en la noche es suficiente para restituir el consumo nocturno de la energía acumulada a lo largo del día.

En general, la calefacción de invernaderos presentan caracte-

rísticas muy diversas, tanto por la dimensión de sus instalaciones y el tipo de cultivo como por el clima y las características de la fuente de agua geotérmica.

El sistema más común se basa en la utilización en serie del recurso geotérmico aprovechando que no todos los vegetales requieren el mismo aporte de calorías para su desarrollo.

Así, en los primeros módulos del invernadero, y en contacto con el agua más caliente, se colocan los vegetales con integral térmico más importante, mientras que en los módulos finales se ubican los de menor necesidad energética, que generalmente son las flores.

También es posible combinar la calefacción de invernaderos con otras aplicaciones térmicas como, por ejemplo, en piscicultura.

Así, por ejemplo se puede montar una instalación de manera que el agua que ya ha cedido parte de su calor al invernadero sea aprovechada en las piletas de cría de peces que requieren agua a menor temperatura, generalmente 20 a 25°C.

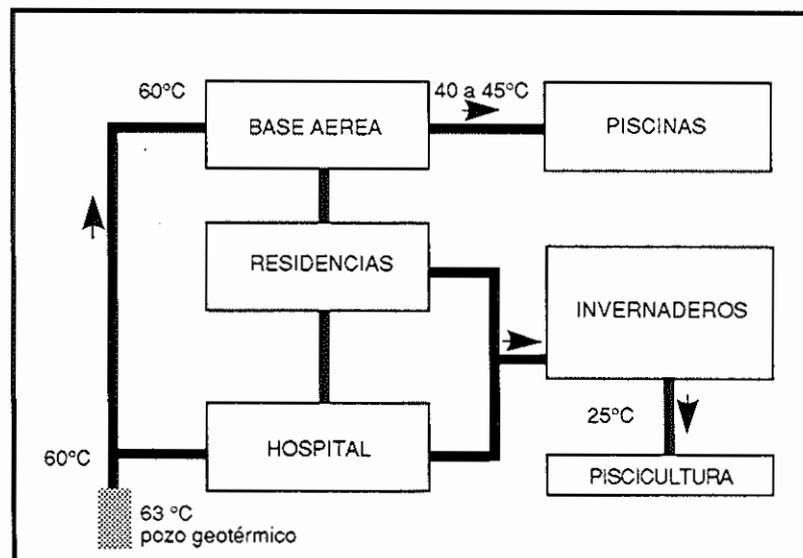
A su vez el agua de las piscifactorías, enriquecida con materia orgánica, nitratos y otras sales, es perfectamente utilizable para el riego en los invernaderos.

Del mismo modo se puede prever la instalación conjunta de sistemas de calefacción con distintas temperaturas de utilización.

Por ejemplo, si se tiene agua termal a una temperatura inicial de 60°C, se puede suministrar calefacción y agua caliente a un conjunto de residencias y hospitales y aprovechar el fluido de salida, de unos 40 a 45°C, para calefaccionar piscinas, invernaderos e instalaciones de piscicultura en ese orden.

Este tipo de proyectos combinados de aprovechamiento en serie del recurso geotérmico ofrece, en la mayoría de los casos, características económicas sumamente ventajosas.

Figura N° 10
Ejemplo de utilización en cascada de la energía geotérmica de baja entalpía



4.4.2 Aplicaciones industriales

En estos tipos de aplicaciones el principal factor a tener en cuenta es el emplazamiento de la planta industrial. La energía eléctrica puede ser transportada a grandes distancias para abastecer a una industria que la requiera, pero una planta consumidora de calor debe estar necesariamente ubicada en las proximidades del pozo de producción geotérmico. En la Tabla 6 se enumeran las principales aplicaciones industriales de la energía geotérmica de baja entalpía.

Tabla 6

Ejemplo de actividades industriales que utilizan energía geotérmica

INDUSTRIAS AGRICOLAS

- Granos, arroz, tabaco, algas, etc.
- Conservas
- Refrigeración
- Deshidratación de pescado, café, sopas, etc.
- Destilación y alcoholes.
- Fabricación y refinado de azúcar.
- Pasteurización de leche.
- Producción de leche en polvo, yogur, cafeína, etc.
- Limpieza de arroz, quesos, etc.
- Deshidratación de productos de la papa...

INDUSTRIA

- Calefacción
 - Refrigeración
 - Fabrica de pulpa de papel
 - Secado de madera
 - Procesado de fibras de caña
 - Procesado textil, limpieza de lana y sacado
 - Fabricación de explosivos plásticos.
 - Tratamientos térmicos de aguas estancadas...
-

MINERALURGIA, METALURGIA, ETC

- Producción de diatomita.
 - Secado de cemento.
 - Climatización de instalaciones mineras.
 - Mineralurgia (oro, titanio, plata, plomo, estaño, cobre, antimonio, berilo, zinc, etc.)
 - Fermentaciones (alcohol etílico, acetona...)
 - Recuperación de elementos traza.
 - Fabricaciones químicas (amoníaco, yeso, bórax, carbonato, azufre, etc.)
-

Uno de los ejemplos más notorios de este tipo de aplicaciones es el caso, ya mencionado de Islandia, en el que el 99% de los edificios de Reikiavik dispone de calefacción y agua caliente sanitaria con aprovechamiento de energía geotérmica.

Francia representa otro buen ejemplo de la aplicación de la energía geotérmica en el dominio de la calefacción.

La utilización de energía geotérmica para calefacción se inició en el año 1969 con la operación Malun en la cuenca de París que dispone de un potencial geotérmico que fue reconocido y evaluado por las numerosas perforaciones petroleras iniciales.

Actualmente superan el centenar los pozos entre 1000 y 2500 m de profundidad que suministran agua caliente a núcleos residenciales de París y sus alrededores con una sustitución de energía de 200.000 TEP.

Este trabajo a sido terminado de redactar en 1992

Brusse, R. y Pesce, A.H., 1982. Cerro Domo: Un volcán Cuartario con posibilidades geotérmicas. Provincia del Neuquén, Argentina. 5° Cong. Latin. Geol. IV:197-208.

Edwards, L.M. et al. 1982. Handbook of Geothermal Energy. 613 pp. Gulf Publishing Co. Houston.

Gutiérrez Negrín, L.C., 1991. Desarrollo Geotérmico Internacional 1985-1990 e Índices de Productividad. Geotermis, Rev. Mcx. Geoenergía, Vol. 7 N° 2:231-253.

International Symposium on Geothermal Energy, 1988. Exploration and Development of Geothermal Resources, Kumamoto and Beppu, Japan. The Intern. Heat Flow Comm. IASPEI, IUGG.

Josep F. Albert i Beltran, 1988. La calor de la tierra: energía geotérmica a Catalunya, 87 pp. Departament d'Industria y Energía II. Títol. III, Colección 1.

Pesce, A.H., 1983. Estudio de prefactibilidad: Evaluación Geotérmica área del Cerro Domuyo, provincia del Neuquén República Argentina. Grupo de Trabajo Vulcanología inf. Inédito. Servicio Geológico Nacional.

Pesce, A.H., 1985. Exemple du Volcanisme Shoshonitique Associe a des Structures de tension et son alternative geothermique dans Les Andes Meridionales de la Republique Argentine, Abstracts, IAVCEI Scientific Assembly - Catania - Italy.

Pesce, A.H., 1987. Evaluación geotérmica del "Area Cerro Domuyo", Provincia del Neuquén, República Argentina. Revista Brasileira de Geofísica, Vol 5:283-299.

Pesce, A.H., 1988. The Feasibility Study on The Northern Neuquen Geothermal Development Project, The Republic of Argentina, Progress Report, Japan International Cooperation Agency, march 1988, JICA (integrante equipo técnico).

Pesce, A.H., 1989. Evolución Vulcano-Tectonica del Complejo Efusivo Copahue-Caviahue y su modelo geotérmico preliminar. Andean Volcanism an Internat. Sympos. In: X Cong. Geol. Argen., Asoc. Geol. Arg., Rev. XLIV,(1-4):307-327.

OLADE 1988. Taller sobre la Situación Actual y Perspectivas de Desarrollo de la Energía Geotérmica en América Latina y el Caribe. Quito, Ecuador.

OLADE 1990. Desarrollo de la Geotermia en América Latina y el Caribe. Seminario Inter. Sobre Perspectivas Geotérmicas en América Latina y el Caribe, San Salvador, El Salvador.



