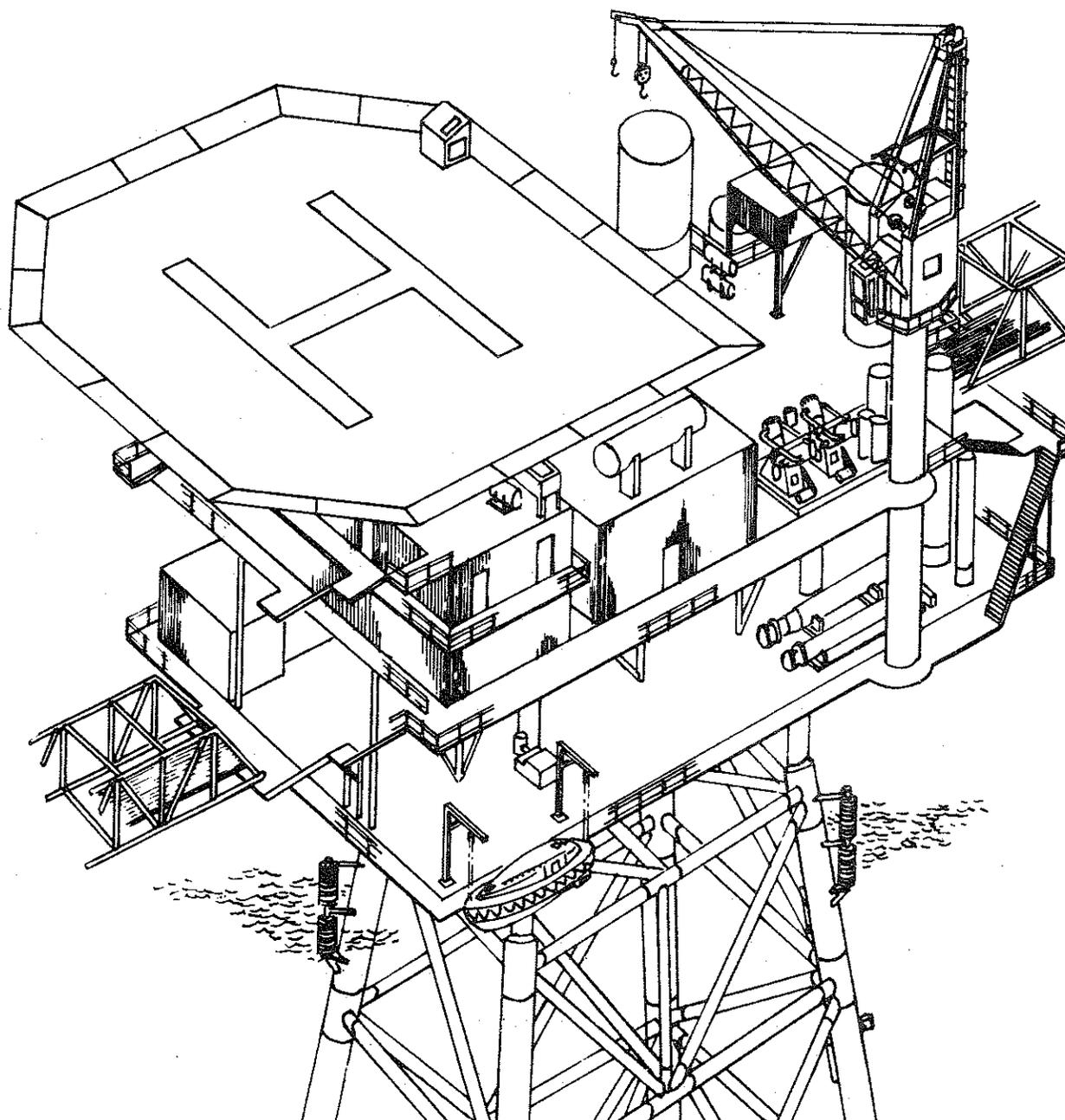


# Estado Actual de la Geotermia en el Salvador - 1979



Por: Gustavo Cuéllar  
Coordinador del Proyecto  
Geotermia OLADE

El Salvador, la más pequeña de las Repúblicas Centroamericanas, posee limitados Recursos Hidráulicos y de acuerdo a sus condiciones geológicas con muy escasas posibilidades para incluir dentro del marco de sus recursos naturales la presencia de derivados del Petróleo, ha logrado aliviar su problema energético nacional y casi independizarse totalmente para la generación de electricidad mediante la utilización del vapor subterráneo proveniente de las grandes reservas calóricas existentes en el subsuelo Salvadoreño.

Las primeras investigaciones en este campo fueron iniciadas en forma sistemática el año 1966, por la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) con la asistencia técnica del programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

En la primera fase de investigaciones se realizaron estudios geocientíficos y perforaciones exploratorias de poca profundidad en las áreas que presentaban manifestaciones calóricas superficiales. Posteriormente se ubicaron 5 pozos exploratorios profundos, el resultado obtenido en estos pozos determinó la iniciación de la segunda fase del programa.

La segunda fase de investigaciones se concentró en el Área Geotérmica de Ahuachapán, fue iniciada en 1969 y finalizó en 1971, incluyó estudios geocientíficos detallados, la perforación de cinco pozos profundos para producción y el estudio de factibilidad para una planta generadora de 30 M.W.

En 1972, la CEL continuó con los estudios geotérmicos en Ahuachapán, estableciéndose la factibilidad técnico-económica para la instalación de una Central Geotérmica de 90-100 M.W.

En 1975, fue puesta en marcha la primera unidad geotérmica de 30 M.W., en Junio de 1976 la segunda de igual capacidad, actualmente se encuentra en su fase final la instalación de la tercera unidad de 35 M.W. que iniciará su operación al final del primer trimestre de 1980.

Simultáneamente al desarrollo e implementación para la explotación industrial del Campo Geotérmico de Ahuachapán se han efectuado las siguientes investigaciones:

-Reinyección en gran escala de aguas geotérmicas residuales con el propósito de optimizar la explotación de los reservorios y minimizar el impacto ambiental.

-Investigaciones en el Campo Geotérmico de Berlín, hasta la fase de factibilidad para la instalación de la cuarta unidad geotérmica de 55 M.W.

-Investigaciones en los campos geotérmicos de Chinameca y San Vicente, hasta la fase de prefactibilidad.

-Primera fase de estudios, para determinar el potencial geotérmico de alta y baja entalpía en todo el País con miras a su aprovechamiento industrial.

-Seminarios de capacitación para especialistas en geotermia, a nivel Centroamericano.

#### Condiciones Geológicas Regionales.

Una tercera parte del territorio Salvadoreño es de edad Holocénica Pleistocénica, las dos terceras partes restantes son de edad Miocénica Pliocénica (Terciaria). Todas las formaciones correspondientes a dichos periodos son de naturaleza volcánica y forman una potente cubierta sobre las rocas sedimentarias subyacentes de mayor edad. En el extremo NNO del territorio afloran rocas sedimentarias de edad Cretácica-Jurásica, pero por la limitada extensión de los afloramientos, no juegan un lugar significativo en el marco geológico regional. En el Norte del país existen afloramientos de rocas intrusivas de edad Miocénica, cuyo carácter es granítico. Las rocas volcánicas de menor edad (Pleistocénico-Holocénica) ofrecen las mejores condiciones de temperatura para desarrollos geotérmicos, para el caso Salvadoreño.

El elemento estructural más característico, está constituido por un graben central que atraviesa toda la República en dirección ONO-ESE, el cual se continúa en Guatemala al NO y en Nicaragua al SE. La cadena costera y la cadena interior forman los bloques marginales del graben. Durante el Pleistoceno, se desarrolló una actividad volcánica relacionada con las fallas que dieron origen a la estructura, principalmente en el borde Sur, donde surgieron estrato-volcanes que cubrieron parcialmente la parte interna del graben.

A lo largo de dicha estructura se encuentran los Campos Geotérmicos identificados como de alta temperatura (200-325°C) y que actualmente se encuentran en fase de explotación o desarrollo.

Paralelamente en la parte Norte del territorio Nacional asociado con volcanes degradados por efectos erosivos y con una actividad totalmente extinguida se encuentran las zonas geotérmicas de media temperatura (aproximadamente 150-200°C).

#### Campo Geotérmico de Ahuachapán.

En el sector Noroeste del grupo volcánico Laguna Verde, en la margen Sur del graben se encuentra ubicada el área geotérmica de Ahuachapán. Los sistemas ONO-ESE y NE-SO caracterizan a todo el graben central, sin embargo la actividad tectónica reciente, a la que están ligados los volcanes, manifestaciones termales y los fenómenos post-volcánicos del

área de estudio, resultan ser controlados por un sistema más joven, el NNO-SSE.

Los centros eruptivos cuaternarios: Laguna Verde y Laguna Las Ninfas, constituyen la fuente calórica del campo y la principal recarga del reservorio; el basamento del campo lo constituyen rocas aglomeráticas de carácter impermeable perteneciente al volcanismo Terciario; las rocas del reservorio están constituidas por una serie de estratos lávicos de gran potencia denominados, Andesitas Basales de Ahuachapán, sobreyaciendo a éstas se halla una sucesión de lavas y tobas.

El sistema geotérmico de Ahuachapán está comprendido en un área aproximada de 200 Km<sup>2</sup>, sin embargo el área de explotación del campo es aproximadamente de 2.5 Km<sup>2</sup>.

Por lo que respecta al cultivo agrícola y a la cría de aves y otros animales de corral, el Centro ha adoptado una tecnología ya experimentada en Brasil que consiste en la creación de invernaderos donde se depositan macetas conteniendo un metro cúbico de tierra a la que se añaden, en cantidades pequeñas, los elementos de que carece. Así, sin el desperdicio que significaría la distribución de esos elementos en grandes superficies de terreno, se obtienen plantas y productos hortícolas difíciles de cultivar en el trópico, como por ejemplo cebollas.

El Centro, que además de la ayuda del Gobierno colombiano recibe la del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y recientemente la del Gobierno holandés, piensa convocar para este año, un congreso internacional de tecnología adecuada para el intercambio de la misma. Empero, insisten sus organizadores, "sólo aceptaremos utensilios y máquinas probados sobre el terreno, no elucubraciones de laboratorio que, luego, en la realidad, no pueden traducirse en cosas útiles. Porque no siempre lo que debería funcionar en teoría funciona de verdad".

El número total de pozos perforados es de 30, equivalente a 29000 metros de perforación, de los cuales 16 pozos son productores con distancias mínimas entre pozos de 150-160 mts, 4 de reinyección y 10 exploratorios de limitada producción algunos de ellos. Los pozos exploratorios están distribuidos en un área de 8 Km<sup>2</sup>.

Los pozos productores constan de una tubería de anclaje de 13 3/8" cementada de 0-100 mts. de profundidad, una tubería de producción de 9 5/8" cementada de 0-500 mts. de profundidad (Límite inferior del techo del reservorio), una tubería de 7 5/8" ranurada o un agujero libre de 8 1/2" entre 500 y 800 mts. en correspondencia con el reservorio.

Los pozos de reinyección poseen un comple-

tamiento hasta los 500 mts. de profundidad similar a los pozos productores ya descritos, entre los 500 y 1000 mts. de profundidad tienen suspendida una tubería de 7 5/8" para protección del reservorio y de 1000 a 1200 mts. agujero libre de 8 1/2" en correspondencia con aglomerados masivos, receptores del fluido de reinyección.

Las profundidades de los pozos perforados en Ahuachapán oscilan entre los 591 y 1524 mts.; el completamiento mecánico está determinado por las características estratigráficas, distribución de la permeabilidad y de las temperaturas.

Después de iniciar la fase de explotación en el Campo Geotérmico de Ahuachapán, mediante un sistema equilibrado de Extracción-Reinyección, se ha desarrollado un cuidadoso programa de mediciones y observaciones que han permitido llegar a las conclusiones siguientes:

-Durante el período de desarrollo del campo 1968-1975, 21390 Kilotoneladas de fluido geotérmico fueron producidas. Se observaron algunos cambios importantes en la presión del reservorio simultáneamente a cambios en la extracción, lo que confirma que el reservorio posee una recarga natural en las afueras de la zona de extracción.

-Durante el período de Junio 1975 a Diciembre 1978, la operación de las unidades generadoras, implicaron una producción total de 18500 Kilotoneladas de fluido geotérmico por año. Alcanzando un total acumulativo desde 1968 hasta fines de 1978 de 75100 Kilotoneladas.

-Como resultado de disminuciones de presión observada durante el período de explotación del campo, se ha desarrollado una zona de vapor en los altos estructurales del reservorio, generando un incremento en la proporción de vapor producido por los pozos (50 o/o) en comparación con la producción de vapor original (15-20 o/o).

-La reinyección de las aguas residuales ha mostrado un beneficio definitivo para el mantenimiento de la presión del reservorio; especialmente cuando se reinyectan niveles del orden del 50 o/o de la masa extraída. La combinación de la recarga natural y la reinyección han permitido recuperar ciertos niveles de presión en el reservorio.

Adicionalmente se han minimizado los efectos nocivos sobre el medio ambiente.

La figura 2 muestra los diagramas de flujo simplificados, de las unidades de media presión en operación y de la unidad de doble presión en proceso de instalación.

Las dos unidades existentes, operan con vapor de media presión, su capacidad nominal es de 30 MW

para un consumo de 230 Ton/h.

La tercera unidad ha sido prevista para operar con vapor de media y baja presión. El vapor de media presión se obtendrá de la separación primaria de la mezcla en la cabeza de los pozos. El agua separada en este punto, será enviada hacia dos vaporizadores ubicados cerca de la planta, los cuales operan a 1.65 kg/cm<sup>2</sup>a.

Las características de las turbinas y condiciones de operación son las siguientes:

1a. y 2a. Unidad

Condición de Operación	Carga	Flujo de vapor (T/h)	Presión entrada a la turbina (Kg/cm <sup>2</sup> ) abs	Vacío Condensador (Kg/cm <sup>2</sup> ) abs
Nominal	30 MW	230	6.0	0.085
Máxima	34.5 MW	261.5	7.0	0.0965

3a. Unidad

Condición de Operación	Vapor baja presión (T/h)	Vapor media presión (T/h)	Presión válvula estrangulamiento MP (Kg/cm <sup>2</sup> ) abs	Presión válvula estrangulamiento BP (Kg/cm <sup>2</sup> ) abs
A: 35 MW	145	171.02	5.59	1.53
B: 35 MW	170	155.24	5.13	1.57
C: 40 MW	170	186.98	6.12	1.73

Los 60 MW correspondientes a las dos unidades de 30 MW instaladas en la Planta Geotérmica de Ahuachapán corresponden al 14.3 o/o del total instalado en el país. Su operación ha sido completamente satisfactoria con un factor de disponibilidad de 95 o/o. A partir de Junio de 1975 que se puso en marcha la 1<sup>o</sup> Unidad hasta Agosto de 1979, se han generado 1412585 MW-H, equivalentes a 114 millones de galones Bunker C a razón de 12.4 KW-H/galón de acuerdo a las características de las plantas térmicas locales.

La contribución porcentual de la energía geotérmica a la generación nacional ha sido hasta del 32.3 o/o anual.

El mantenimiento de la planta se ha programado cada dos años, con una duración de aproximadamente 1 mes, el mantenimiento de los pozos e instalaciones superficiales se efectúa alternamente sin necesidad de interrumpir la operación de la Central.

### Proyecto Geotérmico - Zona Oriental

El Proyecto Geotérmico de la Zona Oriente del País, iniciado en 1976, cubre una extensión de 2500 Km<sup>2</sup> e integra en una sola las áreas de Berlín, San Vicente y Chinameca. Como resultado de los estudios preliminares, se identificaron anomalías geotérmicas en el subsuelo las cuales son en el momento objeto de evaluación, para determinar su extensión y potencial.

### Campo Geotérmico de Berlín.

El Campo Geotérmico se localiza en la vertiente Noroeste del grupo volcánico del mismo nombre, el cual está directamente asociado a la actividad volcánica reciente representada por conos, cráteres y flujos lávicos, desarrollados en el interior de la caldera del primitivo volcán Berlín, cuya edad relativa se estima como perteneciente al período Pleistoceno. Dicha caldera durante la fase final de actividad volcánica fue modificada por efectos tectónicos, seccionándose por fallas gravitacionales paralelas de dirección NNO-SSE, que dieron origen a otra estructura secundaria con las características de un graben. El Campo Geotérmico se desarrolla precisamente en correspondencia con las estructuras descritas, caldera y graben las cuales en conjunto cubren una extensión de aproximadamente 100 Km<sup>2</sup>.

Sin embargo, la anomalía geotérmica definida mediante las investigaciones superficiales es menor que la indicada por las estructuras geológicas involucradas, pero en estrecha concordancia.

Se ha reconstruido preliminarmente, el modelo geológico del campo en base a los perfiles litológicos obtenidos en la perforación de los pozos exploratorios profundos. La formación del reservorio está constituida, según muestras colectadas, por lava andesítica fracturada.

El pozo Tronador-2, primer pozo perforado durante el presente programa, tiene una profundidad de 1902 metros. La zona productora fue alcanzada a los 1799 metros, la temperatura máxima medida fue de 310°C a la cota 900. Pruebas de flujo efectuadas indicaron una producción de 100 Kg/seg de mezcla agua-vapor con aproximadamente el 40 o/o de vapor.

El Campo Geotérmico de Berlín, presenta condiciones favorables para su explotación económica, tanto sus condiciones geoestructurales como las características termodinámicas indican la presencia en el subsuelo de un reservorio de alta entalpía, principalmente de tipo líquido dominante. El conjunto de información colectada sugiere un potencial mínimo aprovechable de 110 M.W.

Se ha efectuado el análisis de prefactibilidad técnico-económico para la instalación de una central de 55 MW, como primera fase, en 1984-85. Este incluye un análisis termodinámico que determina las necesidades de vapor para generación y el sistema de instalaciones que ofrecen mejor aprovechamiento para el Campo de Berlín las cuales son del tipo de turbina de doble flujo a condensación.

Basados en la experiencia adquirida en la exploración y explotación de Campos Geotérmicos se ha estimado la inversión necesaria para llevar a la fase de explotación al Campo de Berlín. Los costos

considerados incluyen las investigaciones, la perforación de pozos profundos productores y no productores y la adquisición e instalación de equipos, los cuales se desglosan a continuación, expresados en millones de dólares.

Turbogenerador	16.0
Tuberías	1.0
Equipo Eléctrico y Auxiliares	1.3
Perforaciones y Estudios	14.0
Obra Civil	4.2
Terrenos	1.0
Desechos	0.9
Ingeniería y Administración	4.1
Contingencias	3.8
<b>TOTAL</b>	<b>46.30</b>

#### Campo Geotérmico de San Vicente.

Se desarrolla sobre la vertiente Norte del aparato volcánico San Vicente, con una estructura constituida por dos conos gemelos en cuyos cráteres existe una tenue actividad fumarólica.

El aparato volcánico, de período reciente, está asentado dentro de una caldera de edad terciaria, la fase efusiva final del volcán consistió de flujos de lava de carácter andesítico-dacítico. La actividad geotérmica superficial localizada sobre zonas de falla están conectadas genéticamente con la fuente calórica del volcán.

El esquema geológico-estructural definido en base a los datos geofísicos, indican la presencia en el subsuelo de una eventual estructura de tipo Horst; que coincide con una de las dos anomalías geotérmicas detectadas.

El pozo exploratorio profundo San Vicente-1, en proceso de perforación, ha interceptado a una profundidad de 1000 metros una zona con temperatura mayor que 200°C y buenas condiciones de permeabilidad; confirmando así la existencia de un nuevo reservorio que puede ser explotado en un futuro inmediato.

Actualmente se continúan con las investigaciones de detalle y perforaciones profundas de exploración con el propósito de evaluar las características y potencial de la zona.

#### Campo Geotérmico de Chinameca.

Está ubicado en la falda Norte del aparato volcánico Chinameca, la actividad del grupo comprende 2 fases eruptivas: la primera corresponde al origen del primitivo volcán Chinameca, en el período Pleistocénico y la segunda de época reciente, ocurrió a consecuencia del colapso tectónico de la primitiva estructura volcánica, la cual fue seccionada por un graben secundario de rumbo NNO-SSE. En el centro del graben surgió un nuevo cono volcánico, cuyo

cráter se denomina Laguna El Pacayal. El esquema geológico del campo es favorable para la formación de reservorios geotérmicos, los perfiles litológicos de los pozos perforados, indican la existencia de un autoselo formado por la alteración hidrotermal de las rocas volcánicas preexistentes. Los reservorios interceptados por las perforaciones exploratorias profundas, están integrados por lavas andesíticas parcialmente silicificados.

Las temperaturas medidas 195°C, según indicadores geoquímicos pueden ser superadas mediante nuevas ubicaciones cercanas a la fuente de calor, sin embargo los fluidos interceptados pueden a mediano plazo ser aprovechados mediante sistemas de conversión de energía no convencionales.

Actualmente se continúan con las investigaciones de detalle, con el propósito de evaluar las características y potencial de la zona.

#### Investigaciones en Nuevas Areas.

Considerando que las experiencias geotérmicas hasta ahora han sido muy satisfactorias y observando la gran importancia que tiene para el país el poder desarrollar en forma acelerada su potencial geotérmico, especialmente por el alto crecimiento absoluto de la demanda, lo que obliga a las plantas hidroeléctricas a ser operadas en el pico del sistema, se hace necesario la implementación de unidades geotérmicas de base, requiriéndose una unidad de 55 MW cada dos años, por lo que deberán concentrarse esfuerzos en obtener información que defina el potencial real de los recursos geotérmicos en el país.

Ante la inexistencia de un método universal capaz de resolver los problemas relacionados con las distintas fases de la exploración geotérmica y permitir automáticamente la identificación y evaluación de un campo, la aplicación de la metodología adecuada tiene su aspecto más delicado en la selección y combinación de las técnicas que tiendan a alcanzar los objetivos particulares de cada fase de investigación tomando en cuenta las situaciones específicas de cada campo. En efecto, la amplia variedad de condiciones locales posibles y el criterio geocientífico de los especialistas puede exigir cambios sustanciales en la secuencia y las características de las técnicas de exploración previstas.

Sin embargo, con una filosofía de exploración apoyada en las experiencias locales y de otros países con medio ambiente particular, OLADE como una contribución a la comunidad geotérmica Latinoamericana en forma excepcional ha logrado iniciar la implementación de la metodología más adecuada para el desarrollo de proyectos geotérmicos en sus distintas etapas y de acuerdo a la realidad de los países Latinoamericanos.

Dicha metodología está siendo incorporada

ampliamente a los programas exploratorios, especialmente en las fases de Reconocimiento y Prefactibilidad. Para el caso Salvadoreño deberán iniciarse a corto plazo investigaciones adicionales en nuevas zonas que permitirán definir el potencial geotérmico nacional, el cual actualmente se estima en los campos geotérmicos de alta temperatura ya estudiados en un mínimo de 500 M.W., probablemente potencial similar puede ser asumido en las áreas de baja temperatura para ser aprovechado mediante ciclos binarios.

La evaluación de las nuevas áreas será iniciado gradualmente, la primera etapa comprenderá la parte litoral y central de los departamentos de San Miguel y La Unión, los objetivos a seguir son:

—Evaluar en forma preliminar las posibilidades geotérmicas de la región estudiada.

—Selección de áreas de interés.

—Elaboración de un esquema geotérmico preliminar y el programa de exploración sistemática para cada área.

#### Recursos Humanos.

Uno de los factores principales que pueden limitar el aprovechamiento del potencial geotérmico en el país, así como a nivel regional, es la escasez de personal especializado. Algunos países han tratado de resolver temporalmente dicho problema mediante la contratación de firmas consultoras, sin embargo la experiencia ha demostrado que debido a la naturaleza de los programas a desarrollar a) es difícil encontrar una firma totalmente competente que sustituya la contribución del personal calificado, b) los tiempos requeridos son más largos y los costos son considerablemente mayores, c) el entrenamiento de profesionales locales ha sido generalmente subestimado.

Organismos internacionales tales como el U.N.D.P. y OLADE han desarrollado actividades con miras a colaborar con los países interesados en la utilización de los recursos geotérmicos promoviendo reuniones y seminarios con fines de capacitación, a causa de la falta de medios disponibles para satisfacer la demanda de entrenamiento a nivel Latinoamericano.

La República de El Salvador con la cooperación de las Naciones Unidas como parte del programa energético Centroamericano, desde Noviembre de 1978 está desarrollando una serie de 5 seminarios para capacitación de profesionales provenientes de los países Centroamericanos y con la participación eventual de países del Sur y el Caribe. El programa de los seminarios es el siguiente: 1º Seminario: Planeamiento y Metodología en el desarrollo y explotación de los Recursos Geotérmicos; orientación general (Nov-Dic. 1978). 2º Seminario: Técnicas de ex-

ploración geológica, geoquímica y geofísica efectuada (Junio 1979). 3º Seminario: Perforación de pozos geotérmicos y mediciones (Febrero 1980). 4º Seminario: Ingeniería de Reservorios y evaluación de los recursos. 5º Seminario: Estudios de Factibilidad, diseño y explotación geotérmica.

OLADE, adicionalmente a la implementación de la metodología para la exploración geotérmica en sus distintas etapas, prevee una serie de actividades tendientes a la capacitación de técnicos asignados a los proyectos. Dichas actividades se concretizarán en el desarrollo del seminario geotérmico en la Ciudad de Guayaquil a principios de 1980 y en la posible organización de cursos para especialistas en distintos centros de actividad geotérmica.

Estas actividades permitirán incrementar el Recurso Humano capacitado que impulsará el aprovechamiento masivo de las grandes reservas calóricas existentes en el sub-suelo.



Fig. N° 8

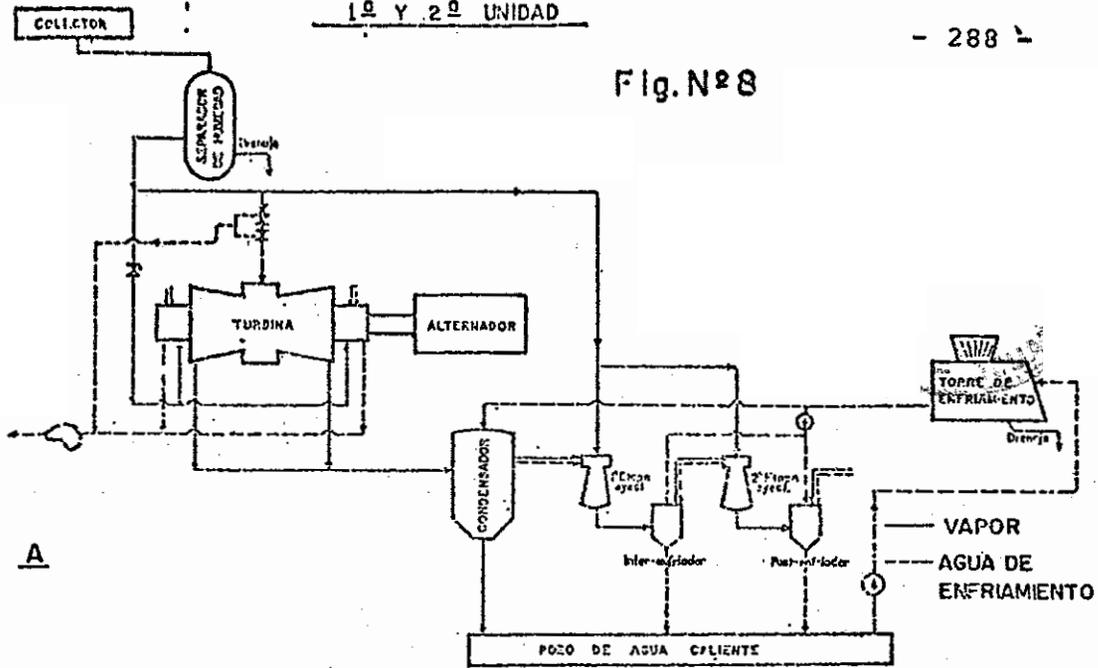


DIAGRAMA DE 3ª UNIDAD

