

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

**ASPECTOS GENERALES DE LOS RECURSOS
GEOTERMICOS**

1995

333.88

C198v

Ej.1

XXV CURSO LATINOAMERICANO DE
ECONOMIA Y PLANIFICACION ENERGETICA

374.

ASPECTOS GENERALES DE LOS RECURSOS
GEOTERMICOS Y LA EXPERIENCIA DE
EL SALVADOR EN SU UTILIZACION

Ing. Alejandro Campos Romero

Este documento ha sido parcialmente financiado con el aporte de la
Unión Europea.

San Carlos de Bariloche
- 1995 -

[Handwritten signature]



**ASPECTOS GENERALES DE LOS RECURSOS
GEOTERMICOS Y LA EXPERIENCIA DE
EL SALVADOR EN SU UTILIZACION**

**XXIV CURSO LATINOAMERICANO DE
ECONOMIA Y PLANIFICACION ENERGETICA**

**ING. ALEJANDRO CAMPOS ROMERO
GERENTE RECURSOS GEOTERMICOS
COMISION EJECUTIVA HIDROELECTRICA DEL RIO LEMPA**

INDICE	PAG.	
CAPITULO I	CARACTERISTICAS DEL RECURSO GEOTERMICO	1
	. Modelo Básico de un Campo Geotérmico	3
	. Figuras	6
CAPITULO II	EXPLORACION, DESARROLLO, EVALUACION DE LOS RECURSOS GEOTERMICOS	13
	. Estudio de Reconocimiento Geotérmico	15
	. Estudio de Prefactibilidad	16
	. Estudio de Factibilidad Geotérmica	17
	. ETAPA DE DESARROLLO	19
	. ETAPA DE EXPLOTACION	20
	. TABLAS	21
	. FIGURAS	22
CAPITULO III	UTILIZACION DE LA ENERGIA GEOTERMICA FUNDAMENTALMENTE PARA GENERAR ELECTRICIDAD	24
	. Forma de Extracción de la Energía Geotérmica	25
	. Proceso de Conversión de la Energía Geotérmica	27
	. Tipos de Plantas Geotermoeléctricas	28
	. Sistema de Conversión de la Planta Geotérmica de Ahuachapán	31
	. Sistema de Conversión de la Planta Geotérmica de Berlín	32
	. TABLAS	34
	. FIGURAS	35
CAPITULO IV	ASPECTOS ECONOMICOS DE LA GENERACION GEOTERMICA	44
	. Costos de Exploración	45
	. costos de Utilización del Fluido	46
	. Costos de Operación y Mantenimiento	47
	. Costos de inversión	48
	. Costos de Generación	48
	. TABLAS	49
CAPITULO V	UTILIZACION DE LA ENERGIA GEOTERMICA EN EL SALVADOR	53
	. Desarrollo de la Energía Geotérmica en El Salvador	54

	. Sistema de Generación Eléctrica en El Salvador y la Contribución de los Recursos Geotérmicos	56
	. Plan de Expansión Energetico 1994 - 2010	56
	. Programa de Expansión Geotérmico	56
	. TABLAS	60
	. FIGURAS	64
CAPITULO VI	MEDIDAS DE CONTROL DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGIA GEOTERMICA	67
	. Estimación del Impacto Ambiental en Proyectos Geotérmicos	68
	. Planta Geotérmica de Ahuachapán: Impactos Ambientales y Medidas Mitigatorias	69
	. Programas Vigentes para la Evaluación y Planes de Mitigación del Impacto Ambiental en Proyectos Geotérmicos	72
REFERENCIAS		74

CAPITULO I
CARACTERISTICAS DEL RECURSO GEOTERMICO

CARACTERISTICAS DEL RECURSO GEOTERMICO

La palabra "Geotermia" se refiere, en términos generales, a la energía almacenada al interior de la tierra en forma de calor, para lo cual para poder comprender el fenómeno geotérmico y sus características, es necesario primero, conocer de manera general, la composición básica y estructura de la tierra, como fuente de vapor geotérmico.

Hipotéticamente, la tierra esta compuesta por cinco(5) diferentes esferas concéntricas, cuyas características de espesor, densidad, composición química, presión y temperatura varia con la profundidad que cada una ocupa desde la superficie hacia el centro de la tierra, estas esferas se identifican como la atmósfera, la corteza continental (que incluye las montañas, los océanos y centros polares), el manto, el núcleo líquido y el núcleo interior, con una consistencia sólida. (Figura No.1.1).

Las condiciones de temperatura y densidad se incrementan rápidamente desde la superficie hasta el centro de la tierra donde se pueden alcanzar temperaturas del orden de los 6000°C. Sin embargo, la corteza, debido a su baja conductividad térmica aísla la superficie de la tierra de las condiciones altamente térmicas que gobiernan al planeta.

En función de los espesores que posee cada una de las esferas que componen la tierra, el conocimiento y los efectos térmicos se limitan únicamente a la corteza (35 km de espesor), la cual alberga tanto la parte Continental como los Océanos, según se ilustra en la Figura No.1.2.

La corteza, de acuerdo al modelo geodinámico interno de la tierra, no es continua sino por el contrario, está constituida por unos doce (12) enormes placas tectónicas rígidas (Figura No.1.3) que experimentan desplazamientos en múltiples sentidos, producto de corrientes correctivas que les hacen flotar y resbalar sobre el manto. Estos movimientos relativos, del orden de pocos centímetros por año, hace que en algunos lugares donde las placas se separan, la corteza se divide (Dorsales Medio-Oceánicas) mientras que en aquellos lugares en donde las placas chocan, la corteza se hunde (Zonas de Subducción).

Ambos procesos llevan consigo fenómenos de transferencia de calor y masa (Figura No.1.4) así, la abertura formada por la separación de dos placas es continuamente rellenada por un flujo ascendente de magna caliente desde el manto, formandose en este caso las islas de origen volcánico o simplemente volcanes dentro del suelo oceánico. Para el caso del choque de dos placas, la más densa se introduce dentro de la otra, deslizándose abajo de ella, en forma angular, hasta sumergirse en el manto, formándose una intrusión magmática, debido tanto a la diferencia de densidades y temperaturas como por el debilitamiento estructural de la placa menos densa, dando lugar a la formación de zonas volcánicas.

Este mecanismo de transferencia de calor y masa hacia la corteza, da lugar a la formación del denominado "cinturón sísmico" el cual limita las zonas donde existe ruptura o choque de placas, que representan focos de producción de calor terrestre, excepcionalmente alto, por lo cual, la mayoría de los recursos geotérmicos se localizan a lo largo del referido "cinturón sísmico" (Figura No.1.5), cuya delimitación ha sido realizada en función de la actividad sísmica que en tales zonas generalmente ocurre.

MODELO BASICO DE UN CAMPO GEOTERMICO

Aunque la palabra geotermia se refiere al calor natural existente en el interior de la tierra, desde el punto de vista práctico, es el estudio y utilización de la energía calorífica de la tierra, que por mecanismo de conducción, sea a través de las rocas o por transporte de fluidos, se desplaza desde el interior hacia los niveles más superficiales de la corteza, que al ser almacenada en las rocas y acuíferos localizados a profundidades susceptibles de aprovechamiento (<3 km) forman los llamados "Reservorios Geotérmicos" que representan el medio de almacenaje del vapor.

Un campo geotérmico se identifica como aquella área de la corteza terrestre que posee los siguientes elementos principales (Figura No.1.6):

Capa Sello: representa el estrato más superficial del sistema, compuesto por formaciones prácticamente impermeables, que actúan como un aislante que impide el escape, hacia la superficie, tanto del calor como de los fluidos almacenado por debajo de ella.

En lugares donde esta formación está fracturada, existe escape de fluidos hacia la superficie dando lugar a la formación de manifestaciones hidrotermales (manantiales de agua caliente, suelos alterados, fumarolas, etc) que normalmente representan las primeras identificaciones de áreas geotérmicas. Sin embargo, pueden existir áreas de interés geotérmico sin manifestaciones y por el contrario, pueden existir manifestaciones y/o emanaciones calientes que no tienen relación con fluidos de alta entalpía.

Generalmente, la parte superior de la capa sello la forman materiales permeables, dentro de los cuales puedan existir acuíferos someros no termales o poco termales, de poco interés para la exploración geotérmica.

Reservorio Geotérmico

Este estrato está generalmente formado por rocas calientes y permeables con un volumen suficientemente grande, que permiten el almacenamiento y circulación de fluidos (agua y/o gases), a alta temperatura y presión.

El reservorio geotérmico es la parte más importante de un campo geotérmico pues es el estrato que almacena el fluido de trabajo (vapor) utilizado para la generación de energía eléctrica.

Para efectos de generación de electricidad, los fluidos almacenados dentro de un reservorio geotérmico deben de tener una temperatura mayor de los 200°C, con presiones hidrostáticas, medidas al nivel del mar, del orden de los 30-40 atmósferas.

La utilización de este vapor es posible a través de la perforación de pozos, que actúan como canal de salida del fluido presurizado y a alta temperatura.

Recarga

La existencia de una formación que tenga capacidad de almacenamiento de fluidos geotérmicos requiere necesariamente de una alimentación, la cual generalmente es el agua lluvia, que se infiltra tanto en el campo como en zonas aledañas al mismo, a través de fallas geológicas, chimeneas de volcanes y cualquier otro tipo de permeabilidad que exista en el área.

El agua lluvia se infiltra siguiendo circuitos hidrológicos complejos, hasta alcanzar grandes profundidades que le permitan adquirir altas temperaturas, que al ser transportada hacia y a través del reservorio, esta se almacena, para formar los reservorios geotérmicos, en los cuales la circulación es horizontal, a través de pasos preferenciales de alta permeabilidad, generando celdas convectivas que uniformizan la temperatura y las condiciones termodinámicas de los fluidos almacenados en el reservorio.

Debido al mecanismo de circulación del agua lluvia a través de las rocas y a las altas temperaturas que existen en un ambiente geotérmico, el fluido adquiere una alta salinidad, debido al incremento de la solubilidad de las sales y minerales que poseen las rocas con el agua a gran temperatura.

Cabe mencionar que la circulación del agua de recarga es lenta y el tiempo que tarda en llegar a un reservorio, desde que se infiltra en la superficie, puede tomar decenas o cientos de años.

Basamento:

Este estrato es la base del reservorio y está formado por rocas impermeables, por lo cual la transmisión de calor se produce, principalmente por mecanismo de conducción, desde la fuente de calor.

Debido a su profundidad, en muchos de los campos existentes en el mundo, este estrato no es interceptado por las perforaciones, principalmente debido a que, por un lado no tiene mayor interés exploratorio y por otro, por encontrarse generalmente a profundidades del orden de los 3,000 metros, no es alcanzable, actualmente con la tecnología tradicional de perforación.

Fuente de calor

Dentro de un sistema geotérmico, la transferencia de calor necesaria para la existencia de las características de alta presión y temperaturas en reservorio generalmente se produce a

través de intrusiones magmáticas situadas cerca de la superficie de la corteza terrestre (5-15 kilómetros) cuya temperatura puede oscilar entre los 600° y 900°C.

Las intrusiones o cámaras magmáticas son porciones de roca fundida del manto o magma que se introducen a la corteza debido al fracturamiento que se producen las zonas de subducción de placas, y dorsales medio-oceánicas algunos de los cuales alcanzan la superficie para formar volcanes y otros, quedan formando las intrusiones magmáticas, que transfieren su calor a través del basamento hasta llegar al reservorio, donde la magnitud de dicho flujo de calor es mayor cuanto más reciente haya sido la actividad eruptiva o el movimiento tectónico que dio origen a la intrusión, de aquí que en la exploración geotérmica tiene gran importancia la identificación del fenómeno del neovolcanismo o vulcanismo reciente.

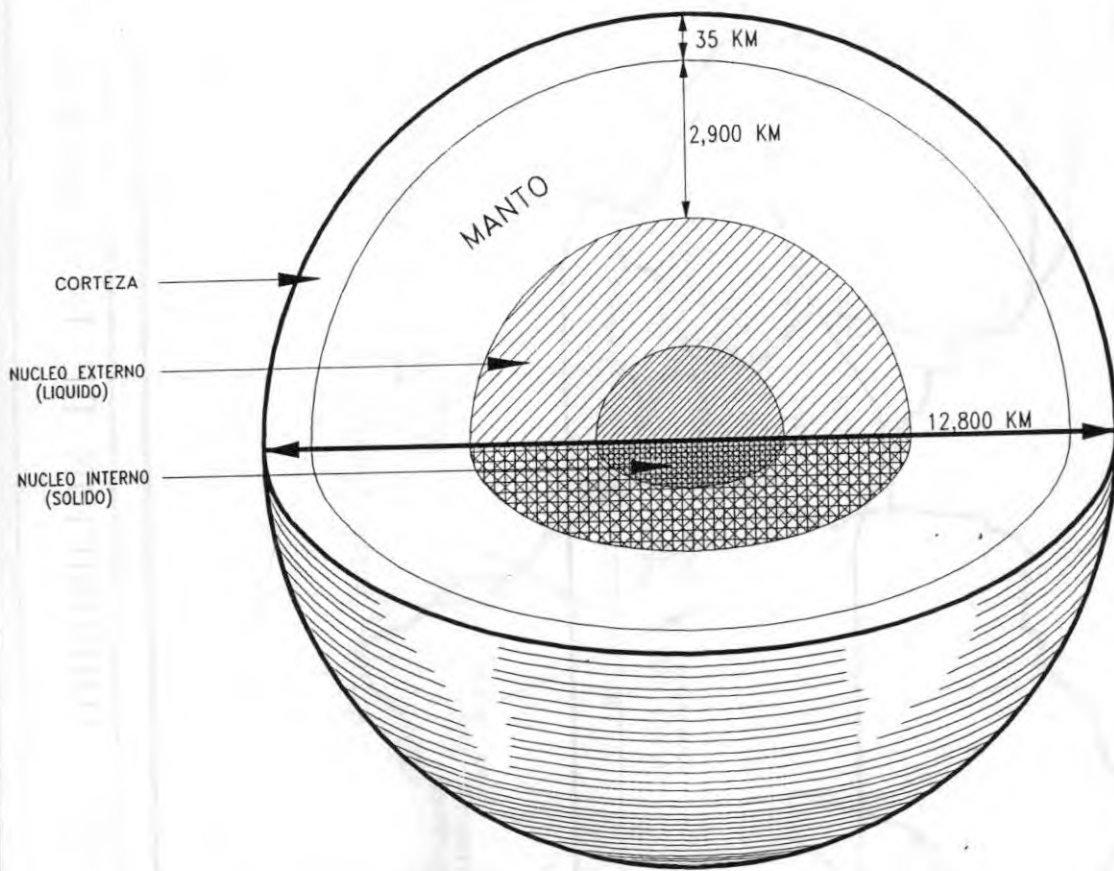
Para la correcta localización e identificación de los sistemas geotérmicos es necesario realizar una serie de investigaciones, tanto en superficie (Estudio o Prospecciones Geocientíficas) como a profundidad (Perforaciones Exploratorias) a efecto de poder definir cada uno de los elementos que lo conforman, de tal forma que se pueda asegurar su utilización, principalmente como fuente de generación de electricidad.

En base a las características de cada uno de los elementos que conforman un sistema geotérmico, y básicamente en función del estado termodinámico del agua en el reservorio, los campos geotérmicos se dividen en "Líquido Dominante", cuando existe una mezcla vapor agua y "Vapor Dominante", cuando el fluido en el reservorio es vapor seco saturado o vapor sobrecalentado.

La mayoría de los campos geotérmicos son Líquido Dominante y en cambio, los campos del tipo Vapor Dominante son escasos, entre los que se pueden citar Larderello (Italia), Los Geysers (Estados Unidos) y Matsukawa (Japón).

En la figura No.1.7 se presentan modelos típicos para ambos tipos de campos geotérmicos.

FIGURA No.1.1 COMPOSICION DE LA TIERRA



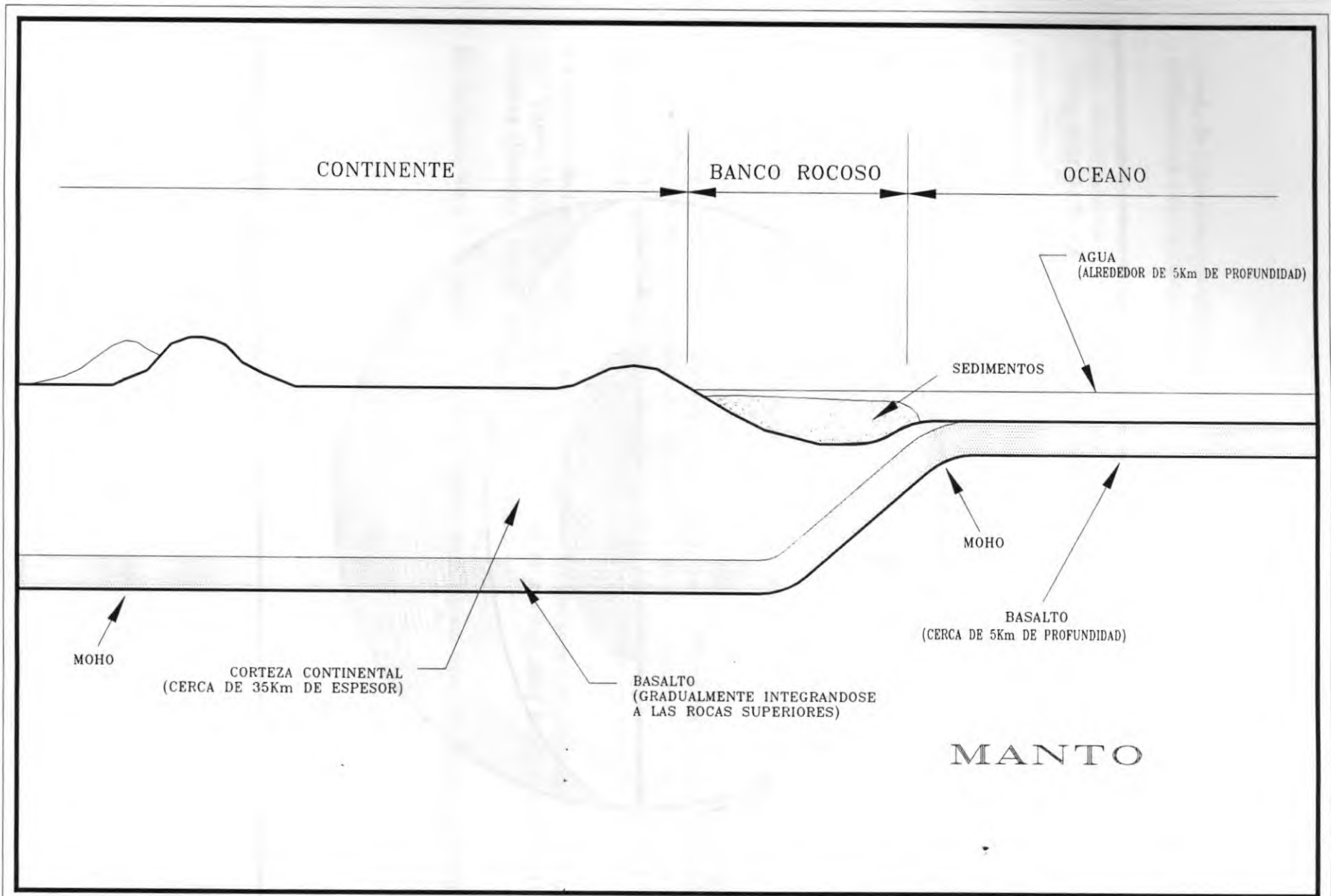


FIGURA No.1.2 COMPOSICION DE LA CORTEZA TERRESTRE

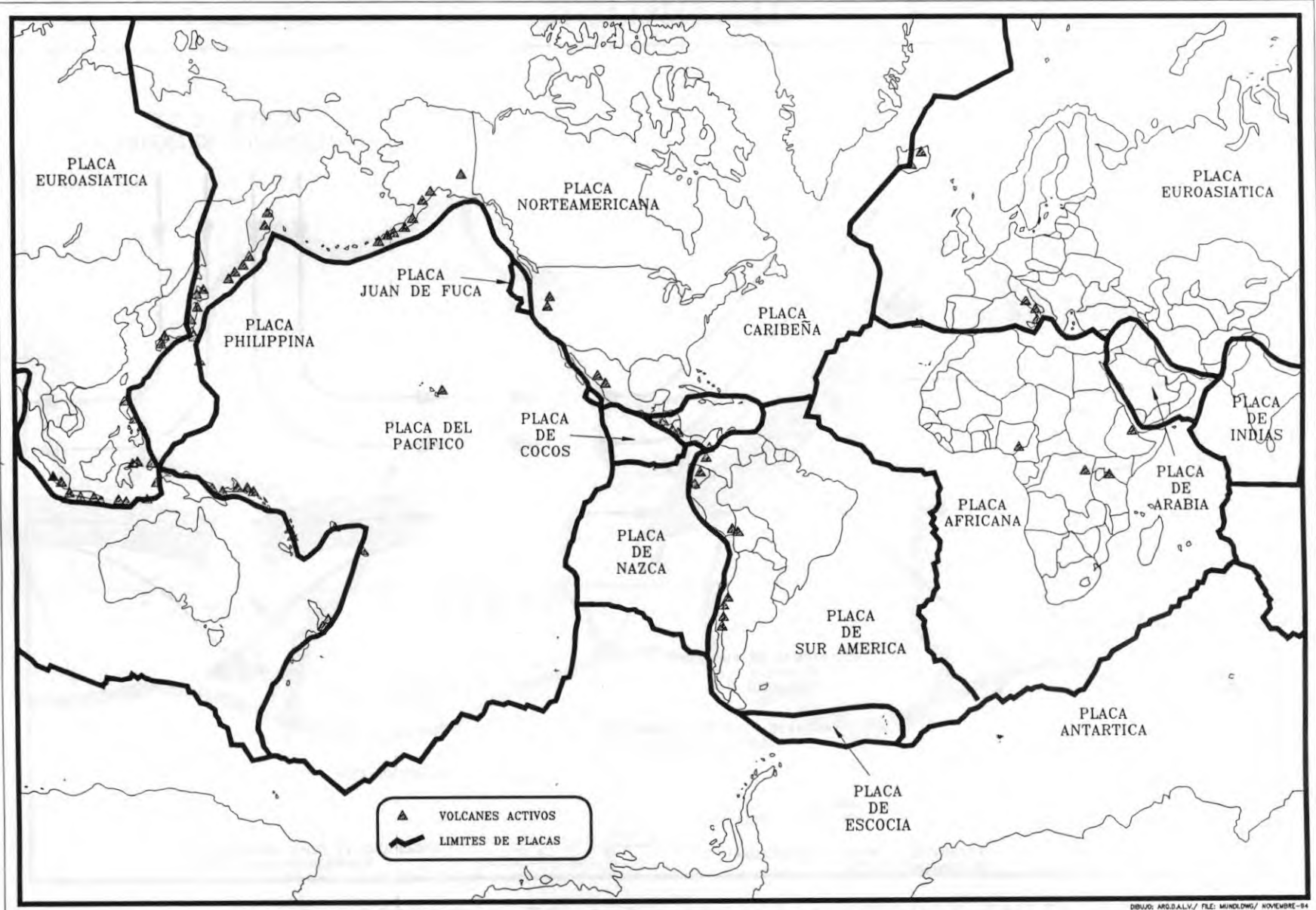


FIGURA No.1.3 TECTONICA DE PLACAS

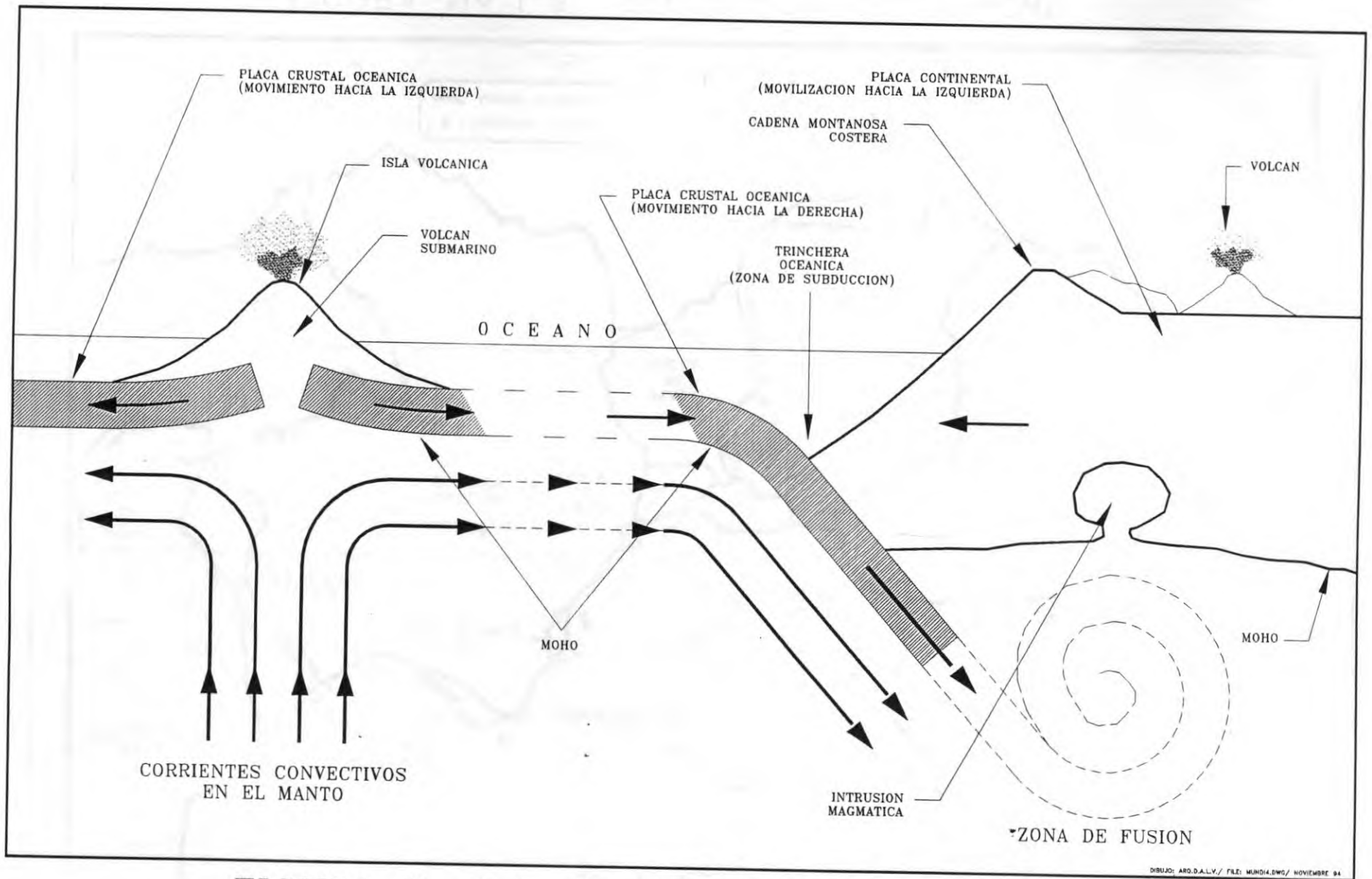


FIGURA No.1.4 MOVIMIENTO DE PLACAS

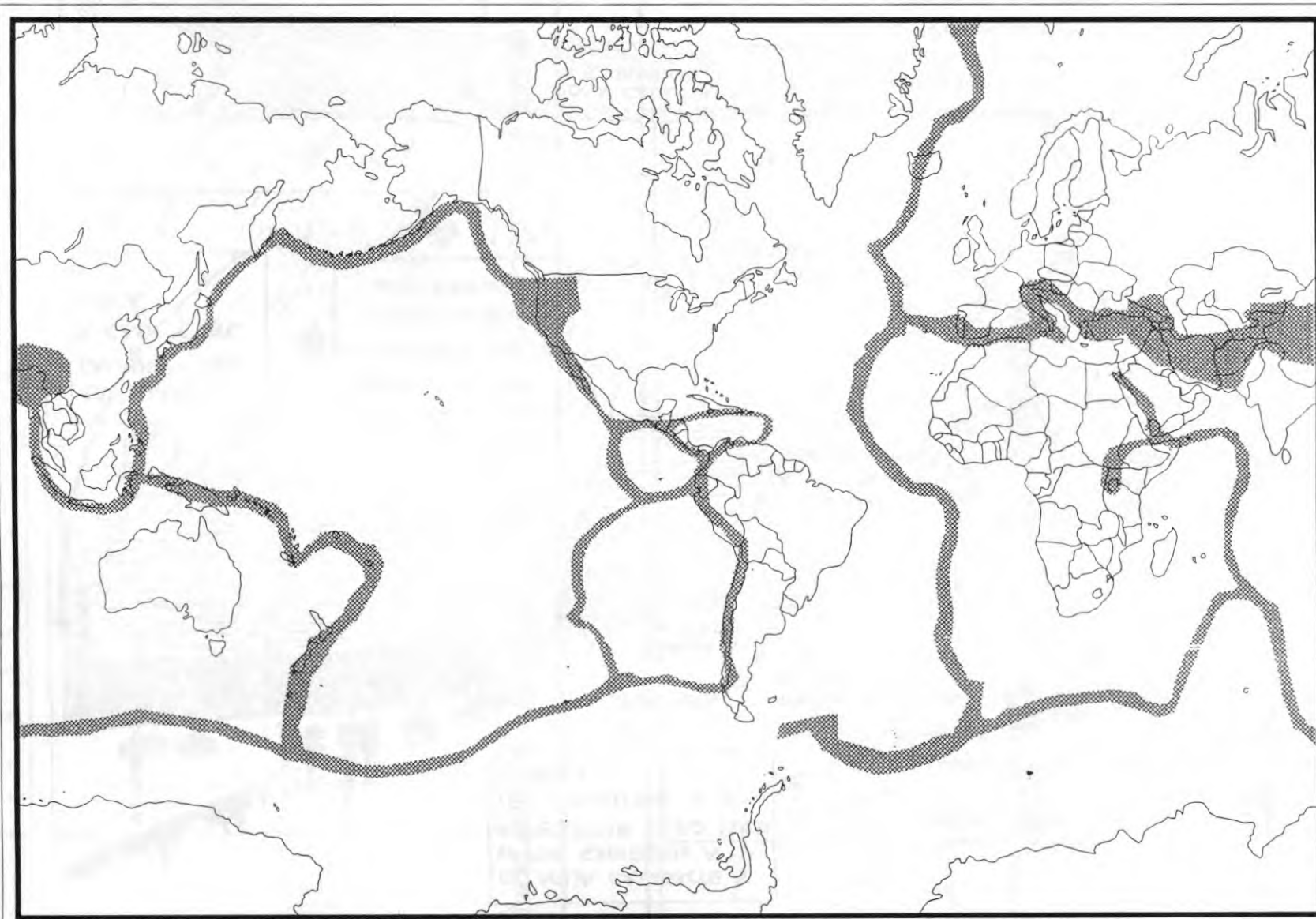


FIGURA No.1.5 PRINCIPAL ZONA DE ACTIVIDAD SISMICA EN EL MUNDO

FIGURA No. 1.6 - SISTEMA GEOTERMICO

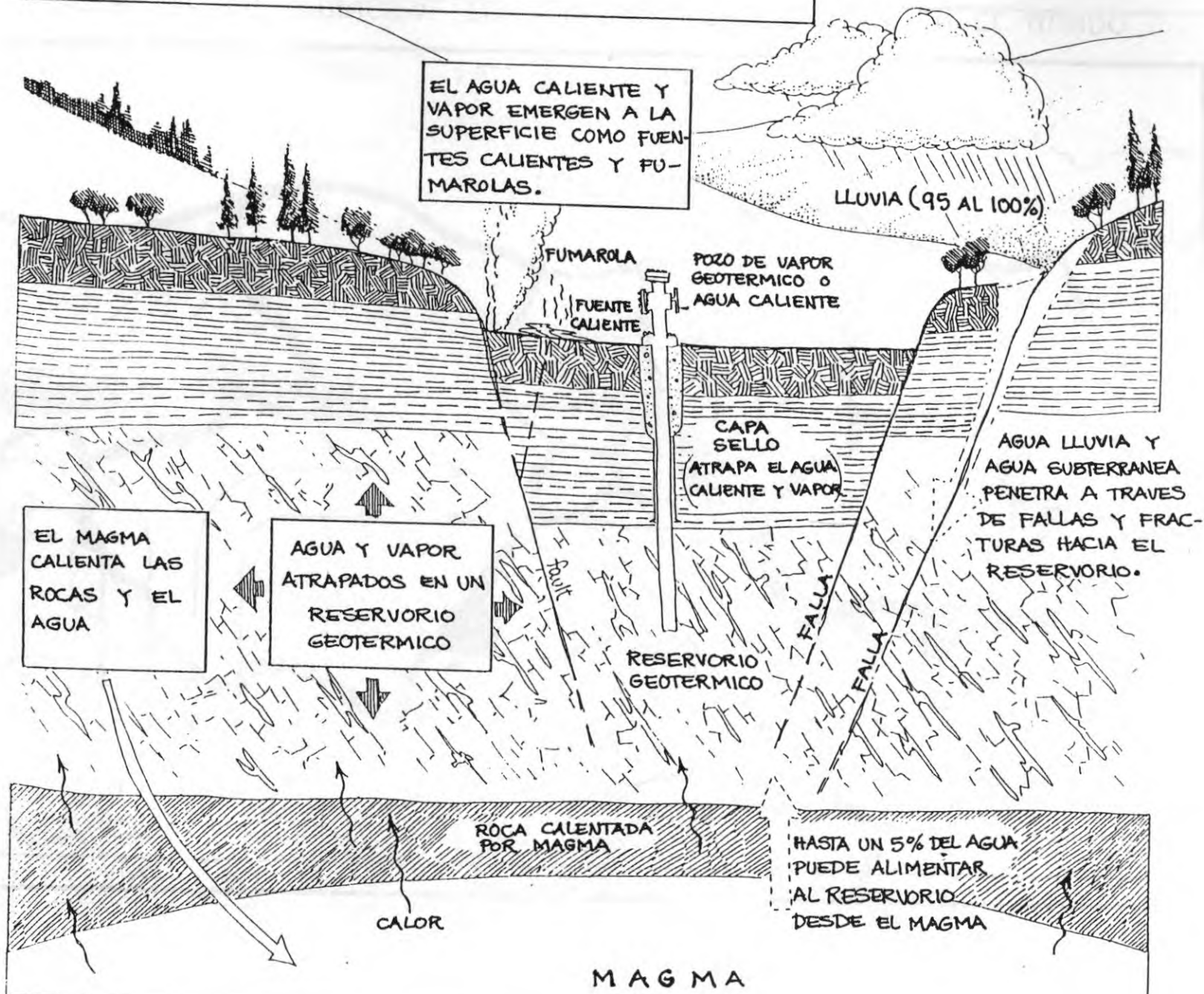
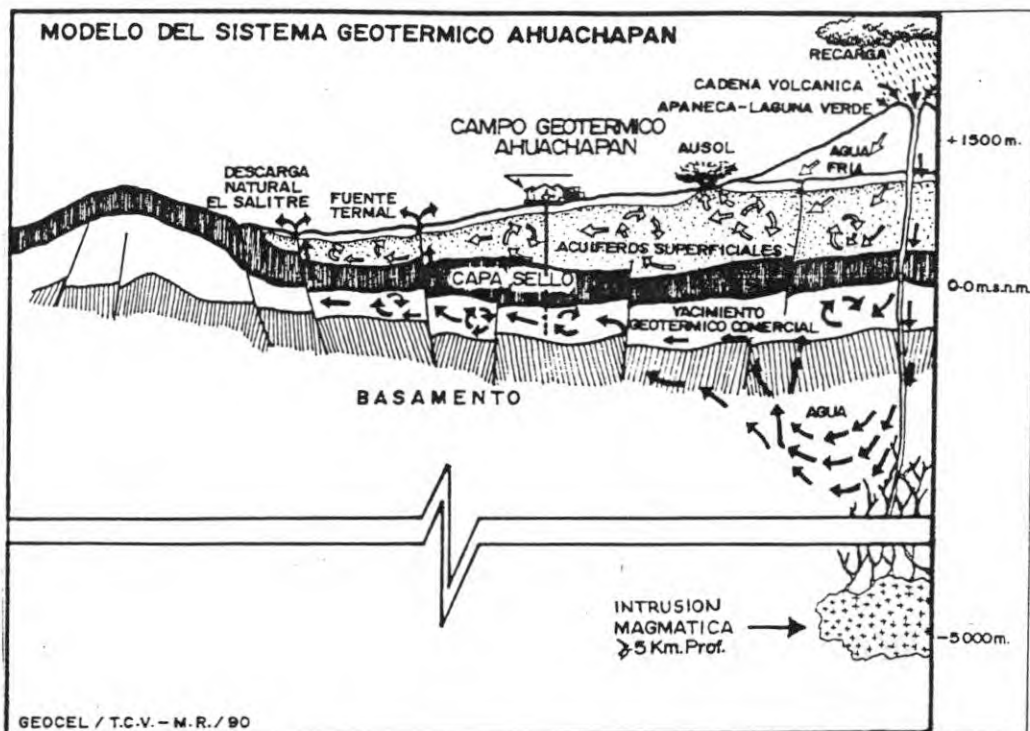
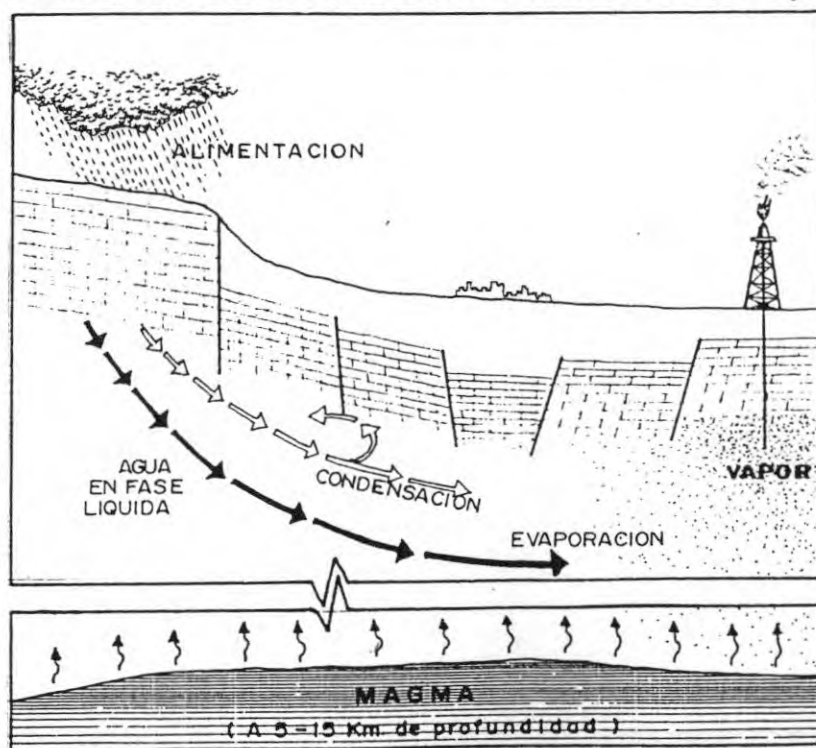


FIGURA No. 1.7 - MODELOS DE CAMPOS GEOTERMICOS

a) MODELO DE UN CAMPO GEOTERMICO VAPOR HUMEDO (ó líquido dominante)



b) MODELO DE UN CAMPO GEOTERMICO VAPOR SECO (ó vapor dominante)



CAPITULO II
EXPLORACION, DESARROLLO Y EVALUACION
DE LOS RECURSOS GEOTERMICOS

EXPLORACION, DESARROLLO Y EVALUACION DE UN CAMPO GEOTERMICO.

En forma general, se podría dividir la ejecución de un proyecto geotérmico, en 2 grandes componentes, la primera de alto grado de incertidumbre y riesgo económico, correspondiente a la Exploración del recurso, tanto a nivel superficial mediante la ejecución de estudios geocientíficos, como a profundidades por medio de perforaciones exploratorias. La segunda gran componente de un proyecto geotérmico corresponde al Desarrollo y Explotación del recurso, la cual, aunque requiere mayores inversiones que aquellas de la etapa de exploración, su riesgo es menor.

En vista de lo anterior, la mayoría de los países latinoamericanos han adoptado metodologías comunes, que tienen como objetivo desarrollar los proyectos en una serie de etapas que tiendan en forma gradual a incrementar el conocimiento del recurso para minimizar el riesgo económico del proyecto, iniciando la exploración en forma regional, aplicando métodos de investigación que requieren pequeñas inversiones, las cuales, conforme se evalúa el recurso y se reduce la incertidumbre, se incrementan en forma también gradual.

Por todo lo anterior un proyecto geotérmico típico se divide en cinco (5) grandes etapas sucesivamente condicionantes y de menor a mayor costo de inversión:

- a) Estudio de Reconocimiento geotérmico
- b) Estudio de Prefactibilidad Geotérmica
- c) Estudio de Factibilidad Geotérmica
- d) Desarrollo del Recurso Geotérmico
- e) Explotación del Recurso Geotérmico.

Las primeras tres etapas corresponden a la exploración geotérmica propiamente dicha, que se inicia con una investigación o prospección geocientífica de superficie utilizando técnicas y metodologías de exploración indirectas que representa la forma más económica de identificación de un recurso para luego, con incrementos graduales de inversión, se pueda comprobar mediante perforaciones profundas, la existencia de un recurso geotérmico, mientras que las etapas de Desarrollo y Explotación están orientados a la producción sistemática de vapor, su utilización para generación de electricidad y al manejo del campo.

En función de los resultados y conforme la incertidumbre de los estudios se minimiza y se incrementa el conocimiento del campo, se inicia la exploración profunda mediante la perforación de pozos exploratorios, cuya profundidad y diseño de tuberías depende tanto de su objetivo como de las características del recurso, lo cual permite una identificación directa del reservorio geotérmico.

Dentro de la exploración geotérmica, la perforación de pozos representa la componente con mayor costo de inversión, por lo cuál esta actividad se realiza hasta que los resultados técnicos sean suficientemente adecuados de tal forma que permita reducir el riesgo financiero, a medida que se incrementan las inversiones.

Las investigaciones geocientíficas incluyen la aplicación de una gran cantidad de técnicas y metodologías o combinación de estas, cuya selección y aplicación depende tanto de la etapa de ejecución como de las características propias del recurso bajo investigación. Sin embargo todo proyecto de exploración geotérmica generalmente incluye un estudio geológico (fotogeología, petrografía, hidrogeología, geovulcanología, etc.) un estudio geoquímico (aguas, gases, isotopos y aire en el suelo) y estudios geofísicos (geoeléctrica, gravimetría, magnetotelúrica, entre otras) así como también las respectivas Evaluaciones Ambientales, que en conjunto tienen como objetivo, la identificación de zonas de anomalías geotérmicas (referenciadas a valores conocidos en terrenos normales), promisorias para la perforación de pozos y compatibilizar la ejecución del proyecto con el ambiente del área bajo investigación.

En las Figuras No.2.1 y No.2.2 se presenta un resumen de las etapas y actividades que incluye todo proyecto típico de Exploración Geotérmica y a continuación se describe cada una de ellas:

ESTUDIO DE RECONOCIMIENTO GEOTERMICO

Esta etapa marca el inicio de toda exploración de los recursos geotérmicos y tiene como objetivos la evaluación preliminar del recurso, selección y priorización de las áreas geotérmicas, definición del modelo geotérmico preliminar de tales áreas y la elaboración del plan de trabajo para la siguiente fase.

De acuerdo a la experiencia Latinoamericana, los estudios de reconocimiento se realiza a nivel regional ó semiregional, en áreas mayores de los 1000 km², pudiendo ser tan grandes como los 100,000 km², debido a lo cuál y para cumplir con los objetivos de esta etapa, con el mínimo de inversión, los estudios realizados poseen un carácter de poco a medio detalle, incluyendo principalmente una evaluación de la información geocientífica disponible, tal como mapas geológicos regionales, datos de volcanismo, imágenes de satélite y fotografías aéreas, información hidrogeoquímica proveniente de pozos de agua perforados en el área de estudio, datos hidrometeorológicos y geofísicos, entre otros.

También se incluye dentro de esta etapa, trabajos de campo, que incluyen muestreos y análisis químico de aguas y gases provenientes de las manifestaciones hidrotermales del área así como también una identificación y evaluación de las características geovulcanológicas del área bajo estudio, incluyendo la definición del tectonismo regional, identificación de los más importantes centros volcánicos, estudio de los cráteres de explosión freática y todos aquellos elementos geológicos que permitan la definición de las posibilidades geotérmicas del área.

Debido a que los estudios así realizados poseen una naturaleza superficial y preliminar, la cantidad de recursos especializados necesarios para su ejecución también es pequeña y aunque el tiempo de ejecución depende de la extensión del área a investigar y de la disponibilidad y grado de especialización del personal y servicios requeridos, este no debería exceder de los 12 meses. En función de lo anterior, esta etapa de la exploración es la que requiere de la menor inversión, considerándose del orden de los US\$350,000 a US\$1,000,000.00.

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD

Una vez finalizados los estudios de reconocimiento y habiéndose definido y priorizado las áreas con mayores perspectivas geotérmicas, se inician los estudios exploratorios de semidetalle, en aquella o aquellas áreas con mayor interés geocientífico que incluye la utilización de técnicas de mayor precisión y costo, sobre áreas que no excedan los 2,000 km², con el propósito de evaluar su prefactibilidad.

Esta etapa tiene como objetivo definir el modelo geotérmico preliminar del área o áreas seleccionadas basadas en la presencia y origen de la anomalía térmica, las características de la capa sello, el modelo de circulación de fluidos y el tipo y características del reservorio.

Como producto del estudio de prefactibilidad, serán localizados los sitios para la perforación exploratoria profunda a ser realizadas en la siguiente etapa, para confirmar y validar el modelo y la identificación del recurso, así como también será desarrollada, a nivel de prefactibilidad, la primera evaluación económica de la utilización del recurso y como parte final, se desarrollará el plan de trabajo para la siguiente etapa de exploración.

En los estudios de prefactibilidad se incluyen investigaciones geocientíficas de mayor detalle y profundidad que en la etapa de reconocimiento, que se desarrollan en un área de menor extensión la cual generalmente es del orden de los 500 a los 2000 km². e incluyen Geología, Vulcanología, Geoquímica, Hidrogeología y Geofísica, las cuales serán desarrolladas con un nivel de detalle que permita, en la medida de lo posible, conocer cualitativa y cuantitativamente los elementos que integran el sistema geotérmico del área seleccionada. Sin embargo, dependiendo de la conveniencia y disponibilidad de fondos, se puede incluir la perforación de pozos exploratorios, para la medición directa de algunos parámetros del subsuelo y comprobar los resultados de la investigación de superficie, pero solamente si se tiene el suficiente conocimiento de las condiciones geológicas e hidrogeológicas como para que la selección del sitio y la perforación del pozo permita obtener al máximo de información con el mínimo de inversiones.

El estudio de prefactibilidad incluye dentro de su ejecución seis fases:

- a) Revisión, evaluación y síntesis de la información existente.
- b) Investigación geocientífica de campo y laboratorio.

- c) Integración de la información y elaboración del modelo geotérmico del sistema geotérmico.
- d) Perforación de pozos exploratorios
- e) Integración de la información geocientífica de superficie y la aportada por la perforación de pozos.
- f) Evaluación preliminar del potencial energético y preparación del documento del proyecto para la etapa de factibilidad.

En caso que la información geocientífica de superficie produzca resultados tan evidentes sobre la existencia de un reservorio geotérmico, no será necesaria la ejecución de las perforaciones exploratorias y por lo tanto, también la integración de la información que estas podrían aportar.

De igual forma en esta etapa de la exploración aunque no se prevee la ocurrencia de impactos ambientales significativos (excepto en el caso de haber perforaciones exploratorias), se inicia la planificación de la evaluación ambiental del desarrollo del proyecto, con el denominado "Examen Ambiental Inicial" que tiene como objetivo identificar y definir el ambiente de influencia del proyecto, para lo cual se utiliza toda la información existente, así como también proponer estrategias para mitigar los potenciales efectos ambientales, identificados para la siguiente etapa de exploración.

Las inversiones para esta etapa de exploración oscilan entre US\$1-2 millones, considerándose un tiempo de ejecución de entre 18 y 24 meses dependiendo del área de estudio seleccionada. Sin embargo, en caso que las características del recurso requiera de perforaciones exploratorias para evaluar su prefactibilidad, el costo de inversión puede llegar a ser de entre US\$4 a US\$5 millones.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD GEOTERMICA

La etapa de evaluación de la factibilidad de un recurso cuyo estudio previo de prefactibilidad ha sido superada satisfactoriamente consiste en la comprobación de la existencia del reservorio geotérmico, en la evaluación de sus potencial geotérmico para el área proyectada, el diseño preliminar del sistema de conversión de energía más adecuado en función de las características del recurso y la factibilidad económica del mismo.

Para alcanzar los objetivos del estudio de factibilidad se realizan en esta etapa de la exploración, perforaciones exploratorias profundas, estudios geocientíficos de detalle, estudios de ingeniería de reservorios y como conclusión, un análisis técnico-económico de los posibles esquemas de utilización del recurso principalmente para la generación de electricidad.

El Estudio de Factibilidad se considera completo cuando el sistema geotérmico es conocido en todos sus parámetros esenciales (capa sello, recarga, reservorio, basamento y fuente de calor) y han sido determinadas las características principales de la Central (ubicación, capacidad, sistema de utilización, equipos, etc), con lo cual será posible elaborar el programa de actividades para la etapa de Desarrollo del Campo, así como también el Documento Bancable que servirá para gestionar el financiamiento para la construcción de la Planta.

Parte importante de esta etapa es la ejecución del Estudio o Evaluación Ambiental en el cual se incluye, además del enfoque del uso de la tierra, del impacto visual y del ruido, los problemas derivados de la perforación y prueba de pozos geotérmicos, proponiéndose como parte integral de la evaluación, tanto la identificación como la propuesta de medidas mitigantes para las potenciales efectos ambientales identificados para la fase de desarrollo del campo.

Una de las actividades que mayor incidencia tiene sobre la continuación del Estudio de Factibilidad es la perforación de los pozos exploratorios, puesto que en función de los resultados obtenidos, en caso de ser satisfactorios, es decir, cuando los pozos muestran temperaturas y permeabilidad importante y un potencial energético comercial, puede continuarse con la estrategia de exploración originalmente diseñada o en caso contrario, es decir, cuando ya sea la temperatura o la permeabilidad de los pozos perforados se presentan en valores poco adecuados para una producción aceptable, habrá necesidad de revisar el modelo conceptual y adoptar la estrategia a tales resultados y realizar los ajustes necesarios para lograr una adecuada evaluación de la factibilidad técnica del recurso.

Una vez la factibilidad técnica del recurso ha sido demostrada, mediante la comprobación del potencial del campo, la selección y diseño básico del sistema óptimo de conversión de energía ha sido realizada y demostrada la compatibilidad ambiental del proyecto, se procede a la evaluación de su Factibilidad Económica.

La Factibilidad Económica del recurso se realiza comparando los costos de la energía eléctrica que se producirían mediante la utilización del recurso geotérmico contra el costo de otras alternativas similares, bajo las mismas condiciones locales y deberá estar constituida por un conjunto de estudios técnicos, financieros, institucionales, jurídicos y económicos, entre otros, para poder definir, formular y justificar ampliamente la alternativa más atractiva de utilización del recurso, dentro del marco del desarrollo energético del país, aportando todos aquellos elementos de juicio que permitan demostrar su rentabilidad económica.

Esta etapa tiene una duración aproximada de entre 24 y 30 meses, con una inversión del orden de los US\$12-US\$18 millones.

ETAPA DE DESARROLLO

Cuando a partir de los estudios de factibilidad ha sido determinado el potencial geotérmico del área prospectada, realizado el análisis técnico económico y definidos los sistemas de utilización del recurso, con un resultado tal que permita la ejecución de un proyecto geotermoeléctrico, se inicia la etapa de Desarrollo mediante la perforación de pozos de producción y reinyección, y el diseño final de ingeniería para la construcción del sistema campo-planta.

En esta etapa también se pueden realizar Estudios Geocientíficos y de Ingeniería de Reservorios con el propósito de actualizar y ampliar el conocimiento del reservorio, con miras a una explotación comercial del recurso.

El objetivo de la perforación de pozos en esta etapa será principalmente para completar los requerimientos de vapor para la capacidad de la planta a instalar así como también, disponer de un número adecuado de pozos de reserva y de reinyección, en armonía con la estrategia de explotación y a las previsiones de operación y mantenimiento del campo.

Cuando existe la disponibilidad de fondos y de vapor, en la cantidad y calidad requerida, en esta etapa se puede incluir la instalación de Plantas a Boca Pozo con el propósito de proceder con la rápida utilización del vapor disponible, para generar electricidad a bajo costo e iniciar la recuperación temprana de las inversiones realizadas durante la explotación del recurso mientras se espera la instalación de una Planta a Condensación de mayor capacidad.

De igual forma, la instalación y utilización de las Plantas a Boca Pozo permite conocer, bajo un esquema de explotación/reinyección, el comportamiento del reservorio, incrementando el conocimiento del campo.

En esta etapa deberán considerarse, con especial énfasis, dentro del diseño de las instalaciones del campo, el desecho de los fluidos geotérmicos y el control de emisiones de ruido y gases incondensables, especialmente durante la perforación y pruebas de producción de pozos, estableciendo un programa de control sistemático y determinando los dispositivos de monitoreo y medidas de mitigación o restitución al deterioro que se pueda causar al medio ambiente.

Para la ejecución y desarrollo de la ingeniería de la planta deberán tomarse en consideración las recomendaciones y criterios indicados en los estudios de impacto ambiental realizados en la etapa de factibilidad.

ETAPA DE EXPLOTACION:

Una vez finalizada positivamente la etapa de desarrollo del campo, se inicia la etapa final de un proyecto geotérmico, que consiste en su explotación comercial y tiene como objetivo mantener un suministro confiable de vapor a la Central Geotermoeléctrica, para asegurar la generación de energía eléctrica, a su máxima capacidad y con la mayor economía posible, durante todo el período de vida útil.

La etapa de explotación del recurso incluye tanto la operación como el mantenimiento del Campo y la Central.

Dentro de la operación del campo deberán realizarse todas aquellas actividades tendientes a optimizar la utilización del recurso y prolongar la vida útil del mismo, para lo cual se realizan una serie de mediciones periódicas y estudios de Ingeniería Química y de Reservorio que pretenden recolectar toda aquella información que sirva para evaluar el comportamiento termodinámico del reservorio y los cambios químicos que sufren los fluidos bajo el régimen de explotación y su efecto sobre el sistema campo-planta, con el propósito de adoptar las medidas, tanto correctivas como preventivas para la optimización de la explotación del reservorio y del funcionamiento del sistema campo-planta.

En la Tabla No.2.1 se presenta un resumen de las actividades que se realizan para obtener la información suficiente para la interpretación de datos de operación y monitoreo.

El mantenimiento del campo tiene como objetivo mantener, en las mejores condiciones posibles de trabajo, tanto los pozos (sean éstos productores, reinyectores o de observación) como las instalaciones superficiales y sistema de acarreo, incluyendo las tuberías, accesorios y obras civiles asociadas, que como producto de la explotación del recurso sufren deterioro progresivo.

Parte importante dentro del mantenimiento del campo son los efectos que sobre la producción de los pozos tiene las características fisicoquímicas de los fluidos provenientes del reservorio explotado, principalmente la incrustación y corrosión de las tuberías de los pozos e instalaciones superficiales los cuales pueden requerir ya sea la reparación o en el peor de los casos, cuando el efecto es crítico ó considerable, el cierre del pozo y perforación de uno nuevo de reposición y/o la reposición de equipos de separación y transporte de fluidos.

Otra componente de mucho interés para la operación y mantenimiento del sistema campo planta deberá ser el control y mitigación de los potenciales impactos ambientales ocasionados durante la explotación comercial del campo, para lo cual se deberán adoptar las medidas tendientes a eliminar o mitigar principalmente el efecto de las descargas de pozos, desecho de aguas residuales y sólidos, emisión de gases y el ruido producido por la planta.

TABLA No. 2.1
INTERPRETACION DE DATOS DE OPERACION
Y MANTENIMIENTO DEL CAMPO

MONITOREO TERMODINAMICO

* Mediciones de Superficie

- Registro Continuo de Presión de Cabezal y de Separación
- Medición de temperatura del pozo
- Productividad del pozo (flujo agua/vapor)
- Determinación de Entalpia de producción

* Mediciones de Fondo

- Registro de presión y temperatura
- Calibración de tuberías

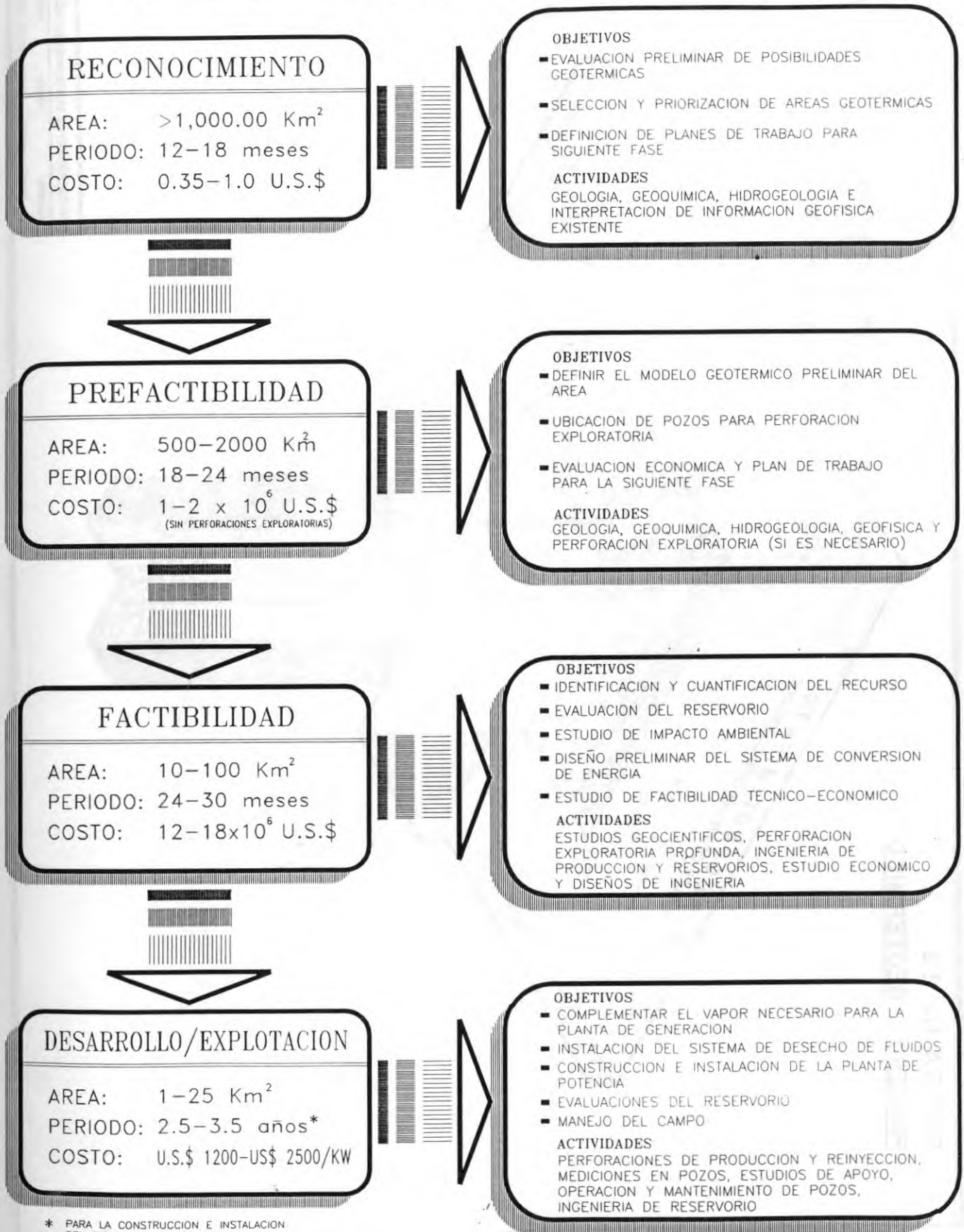
MONITOREO QUIMICO

- * Análisis químico de Fases Vapor y Agua
- * Geotermometría
- * Control de Salinidad

PATRONES DE COMPORTAMIENTO

- * Incrustación
- * Obstrucciones
- * Entradas de Agua/Recarga Agua fría
- * Ebullición

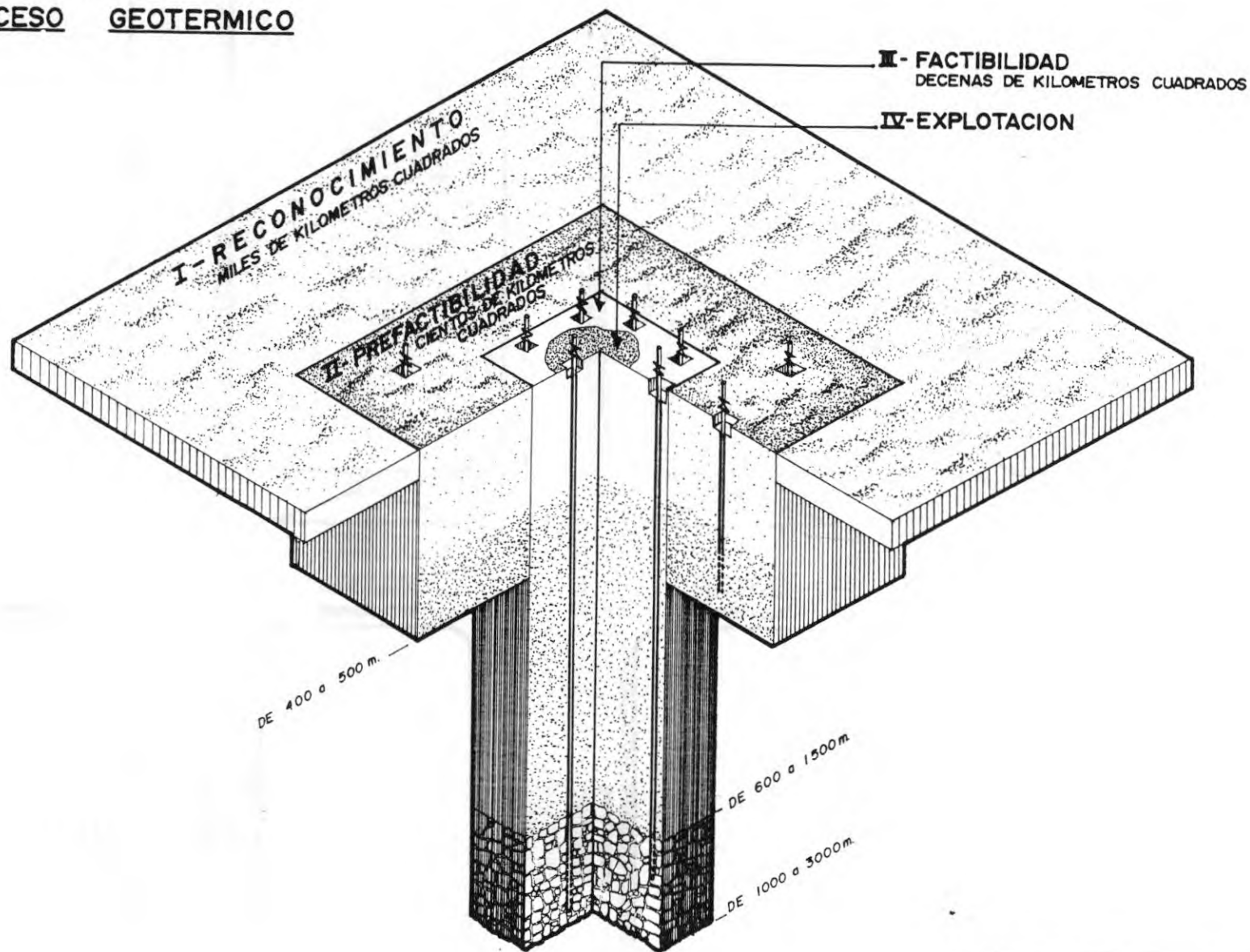
FIGURA No.2.1 ETAPAS DE UN PROCESO GEOTERMICO



* PARA LA CONSTRUCCION E INSTALACION DEL SISTEMA CAMPO/PLANTA

FIGURA No. 2.2

PROCESO GEOTERMICO



SPDCA, PROYECTOS GEOTERMIOELECTRICOS (GEOCEL)		
ELABORO:	DIBUJO:	FECHA:
ING. TOMAS CAMPOS V.	DAVID A. LOPEZ V.	OCTUBRE 89

CAPITULO III

UTILIZACION DE LA ENERGIA
GEOTERMICA FUNDAMENTALMENTE
PARA GENERAR ELECTRICIDAD

UTILIZACION DE LA ENERGIA GEOTERMICA FUNDAMENTALMENTE PARA GENERAR ELECTRICIDAD.

En la forma más simple, la generación de electricidad utilizando energía geotérmica se realiza en las denominadas plantas geotermoeléctricas, donde el vapor proveniente del subsuelo a través de un pozo geotérmico, empuja los alabes de una turbina que la hace girar conjuntamente con un generador acoplado a ella, (generalmente al conjunto de turbina y generador se le conoce como grupo turbogenerador) transformando la energía mecánica en energía eléctrica, la cual es transmitida y distribuida a través subestaciones y líneas de transmisión.

De esta forma existe una cadena de transformaciones de energía: la energía geotérmica es convertida en energía mecánica mediante una turbina, esta energía mecánica es transformada en energía eléctrica a través de un generador, proceso que también se utiliza en las plantas hidroeléctricas, variando únicamente el fluido de trabajo, que en el caso particular de las plantas geotermoeléctricas es el vapor, donde la fuerza del fluido es la entalpía.

FORMA DE EXTRACCION DE LA ENERGIA GEOTERMICA

La parte final y más importante de una exploración geotérmica se presenta en el momento que se confirma la existencia de vapor en superficie, lo cual permite evaluar un recurso y programar su utilización para la generación de electricidad.

Luego que ha sido desarrollado un recurso geotérmico y existe una planta geotermoeléctrica es necesario contar con el medio para hacer llegar el vapor hacia la planta, lo cual se logra a través de la perforación de pozos geotérmicos y la instalación tanto de equipos superficiales de separación como de tuberías de acarreo y distribución de fluidos.

Con la tecnología geotérmica actual, un reservorio susceptible de explotación comercial, económicamente factible, no debe sobrepasar los 3 kilómetros de profundidad, esto principalmente debido a las altas temperaturas que se alcanzan a tales profundidades, que limitan el uso de los equipos de perforación.

Dado que el fluido geotérmico es un recurso que se debe trasladar desde la profundidad de la tierra, es necesario conocer la forma como se logra extraer, en forma controlada y manejable, para lo cual se realiza la perforación de pozos geotérmicos para la producción de vapor.

Una vez las investigaciones geocientíficas han determinado la localización de un reservorio geotérmico y particularmente, la ubicación de los pozos de producción, se procede a su perforación, la cual se realiza aplicando tecnologías similares a la utilizada para pozos petroleros, excepto que en el caso geotérmico hay que considerar tanto las altas temperaturas y la corrosividad de los fluidos a extraer, así como también que la profundidad

máxima alcanzada no debe sobrepasar los 3 kilómetros.

En la Figura No.3.1 se presenta un arreglo típico de maquinaria de perforación utilizada tanto en la industria petrolera como en geotermia.

Un pozo geotérmico no es más que un agujero que se perfora con cambios de diámetros discretos y menores conforme aumenta la profundidad, principalmente para disminuir los riesgos de inestabilidad en las paredes del pozo (ver figura No. 3.2)

La herramienta básica para esta operación es una barrena, cuyo material de construcción varía dependiendo del tipo de formación que se intercepta durante la perforación, a efecto de superar tanto los efectos de la dureza como de la abrasividad de los mismos.

La barrena se hace girar mediante una sarta de perforación, que no es más que una sucesión de tubos de aceros enroscados entre sí, que individualmente miden 12 metros de largo y el número de ellos depende de la profundidad alcanzada dentro del pozo.

El diseño tradicional de un pozo geotérmico consiste en un agujero superficial de 26" de diámetro con lo cual se alcanza una profundidad de entre 20 y 50 metros, el cual se reviste con tubos de acero de 20" de diámetro (tubería de revestimiento), cementando el espacio anular existente entre estos y la pared del agujero, con el propósito de darle rigidez a las paredes del pozo.

Luego existe un tramo, con una profundidad de entre los 300 y 500 metros, cuyo diámetro se reduce a 17 1/2". Al igual que para el tramo anterior, las paredes del pozo se revisten con una tubería de 13 3/8" de diámetro la cual se prolonga hasta la superficie del pozo y luego se cementa el espacio anular.

Posteriormente, se perfora un agujero de 12 1/4" de diámetro, empleándose en este tramo una tubería de revestimiento de 9 5/8" de diámetro (denominada "tubería de producción"), cuya longitud real y por consiguiente el respectivo proceso de cementación se extiende desde la superficie del pozo hasta la profundidad máxima alcanzada en esta etapa, es decir entre los 1000 y 1500 metros.

La última etapa de perforación de un pozo productor se realiza dentro del denominado "reservorio geotérmico", es decir la zona con mayor temperatura y permeabilidad, que representa la fuente de aportes del fluido geotérmico, la cuál se realiza con una barrena de 8 1/2" de diámetro. A diferencia de los estratos anteriores este tramo perforado no se cementa y por el contrario se coloca una tubería ranurada de 7 5/8" de diámetro con el propósito de permitir el aporte y extracción del fluido geotérmico y evitar el paso de materiales sólidos grandes desde las paredes del pozo.

Esta tubería ranurada, a diferencia de las demás tuberías de revestimiento, no se coloca desde la superficie sino que se instala a partir del extremo inferior de la tubería de producción mediante dispositivos denominados "colgadores".

El manejo y regulación del flujo de vapor se realiza mediante una válvula maestra instalada en la superficie del pozo, adaptada a la tubería de producción, tal como se presenta en la Figura No.3.3, en donde también se presenta una terminación típica de un pozo geotérmico.

PROCESO DE CONVERSION DE LA ENERGIA GEOTERMICA

La cantidad y calidad del vapor disponible en un reservorio geotérmico depende de su estado termodinámico, el cuál puede ser "Vapor Dominante" en cuyo caso el aporte es de una fase de vapor, o puede ser "Líquido dominante" en el cual el fluido es una mezcla de las fases de agua-vapor y en el peor de los casos puede contener únicamente agua-caliente, con temperatura menor de 200°C, denominadas "Reservorio de baja entalpía" cuya utilización para fines de generación eléctrica están limitadas a tecnologías especializadas no convencionales.

En la Figura No.3.4 se presenta el esquema global de utilización de la energía geotérmica, para fines de generación de electricidad, el cual incluye la etapa de extracción, transporte y conversión de la energía térmica a eléctrica

La mayoría de campos geotérmicos son de naturaleza "Líquido Dominante", donde los pozos producen una mezcla agua-vapor por lo cuál hay necesidad de separar el vapor de la mezcla inmediatamente después que sale del pozo, lo cuál se realiza mediante un "Separador Ciclónico", a partir del cual, el vapor se transporta, a través de las tuberías hasta la Central Generadora, donde se transfiere la energía a una turbina, que realiza un trabajo para producir electricidad.

Luego de esta transformación, el fluido se transporta hasta un Condensador y luego a una Torre de Enfriamiento, para ser desechado con una temperatura bastante baja, de alrededor de los 40°C, el cuál es vuelto a reutilizar dentro del ciclo de enfriamiento del vapor (condensador-torre de enfriamiento). El agua separada, para el caso específico de Reservorios Dominantemente Líquidos puede ser vuelta a inyectar al reservorio mediante pozos denominados de "reinyección" con el propósito de recargar hidráulicamente el campo y en otros casos puede ser utilizado para generar, a través de equipos de vaporización (Flasher), vapor de baja presión o en el caso de menor utilidad práctica, desde el punto de vista energético, el líquido residual puede ser desechado a la atmósfera hacia cuerpos receptores, tales como ríos, lagunas o al mar, opción que por razones ambientales está siendo gradualmente descartada, utilizándola únicamente como medio temporal de desecho de aguas residuales.



TIPOS DE PLANTAS GEOTERMoeLECTRICAS

Uno de los más importantes y básicos problemas en la evaluación de la Factibilidad de utilización de un Recurso Geotérmico para la generación de electricidad, es la selección del sistema de conversión que más eficientemente transforme la energía calorífica del vapor a potencia eléctrica, en función de las características termodinámicas del reservorio a explotar y de la economía de la conversión.

En este sentido, las plantas geotermoeléctricas se dividen en dos grupos, el primero aplicable a Campos Dominados por Vapor y el segundo grupo, para aquellos Sistemas Líquido Dominante, siendo estos últimos los que predominan en el mundo.

Actualmente existen alrededor de 5 tipos básicos de plantas de gran tamaño, para la transformación de la energía geotérmica, utilizando turbinas a vapor de agua, basados en el proceso termodinámico del convencional Ciclo Cerrado RANKINE, en el cuál el vapor que es generado por una "caldera", que para el caso específico es un pozo geotérmico, se expande transmitiendo trabajo a una turbina, vapor que después se envía a un condensador donde al cambiar completamente a fase líquida, se le extrae una cantidad adicional de calor; y finalmente el Ciclo Cerrado se completa con el trabajo adicional que hace una "bomba", que también corresponde al pozo geotérmico, el cual envía continuamente vapor a alta presión para volver a elevar la presión desde su valor más bajo alcanzado en el Condensador, hasta el valor de presión requerido en la Turbina.

La eficiencia de conversión de este ciclo es proporcional al cambio de energía producido y para el caso particular de la energía geotérmica, para que la cantidad de trabajo realizado sea mayor se requiere que la diferencia entálpica (presión y temperatura) sean lo más grande posible.

Debido a que las condiciones termodinámicas(entalpía,presión, y temperatura) del vapor a la salida de un pozo geotérmico son particulares y fijas, determinadas por las características del reservorio, la única forma de incrementar la diferencia termodinámica de la energía a la entrada y salida del ciclo de conversión, es adaptar las condiciones después de la Turbina, de tal forma que sean las más bajas posibles, para lo cuál se utiliza un Condensador que hace que la presión de salida sea menor que la atmosférica, de aquí que las llamadas Plantas a Condensación, aunque requieren una mayor inversión, son más eficientes, consumiendo menos vapor por megavatio producido.

Para el caso, el consumo específico de vapor para una planta a condensación es de 8 ton/hora/MWe, mientras que para una planta a contrapresión (descarga atmosférica) es de 13.6 ton/hora/MWe

PLANTAS DE VAPOR DIRECTO:

Estas plantas se utilizan para campos de Vapor Dominante en donde el fluido de trabajo es vapor sobrecalentado ó seco , por lo cuál su alimentación es directamente hacia la turbina y comprende básicamente dos tipos:

- a) Plantas de descarga atmosférica ó contrapresión
- b) Plantas de Condensación

La diferencia entre estas plantas se presenta en la forma como se descarga el vapor que sale de la Turbina, sea directamente hacia la atmósfera ó hacia un condensador enfriado por agua. En la Figura No.3.5 se presenta el arreglo para ambos tipos de plantas y el ciclo termodinámico que gobierna el proceso de conversión de energía se presenta en la Figura No.3.6.

PLANTAS DE VAPOR INDIRECTO

Para reservorios del tipo Líquido Dominante, el flujo producido por un pozo es una mezcla de la fase agua y fase vapor, para lo cual para su alimentación hacia una Turbina es necesario la separación de dichas fases, utilizando un Separador Ciclónico, siendo la fracción de vapor la que se utiliza como fluido de trabajo. (Figura No.3.5 y Figura No.3.6)

Los tipos de plantas utilizados en los campos geotérmicos Dominados por Líquidos y sus respectivos ciclos termodinámicos de conversión de energía se presentan en las Figuras No.3.5 y No.3.6, existiendo básicamente tres tipos:

- a) Plantas de Simple Flasheo (Figura No.3.5d y 3.6e)

La mezcla bifásica proveniente de un pozo geotérmico se alimenta a un separador ciclónico colocado generalmente adyacente al pozo, donde el vapor allí separado alimenta a la turbina a una sola presión y el líquido separado (salmuera) particularmente para este tipo de plantas, puede ser desechado a la atmósfera ó reinyectado al reservorio.

Este tipo de planta es equivalente a la planta de descarga atmosférica para campos alimentados por vapor seco ó sobrecalentado, teniendo como única diferencia, la existencia de un Separador Ciclónico y de la fase l

La eficiencia de conversión de energía en este tipo de plantas es un 15-20% mayor que para la planta de simple flasheo, pues el líquido separado a una temperatura mayor de los 150°C, se somete a una segunda caída de presión en un dispositivo denominado FLASHER, con lo que se produce un vapor adicional de baja presión,

el cuál puede también ser alimentado a otras etapas de la misma turbina que recibe el vapor principal (vapor media presión).

De esta forma se obtiene energía adicional sin necesidad de perforaciones adicionales, ni extracción de mas cantidad de fluido.

c) Plantas de Descarga Atmosferica ó Contrapresión (Figura No.3.5c)

Este tipo de Plantas es equivalente al utilizado en los sistemas Dominados por Vapor, con la unica diferencia que para cuando la alimentación es una mezcla bifasica, existe un separador ciclónico y un líquido residual que debe ser reinyectado, desechado a efluentes superficiales ó utilizado, dependiendo de su contenido energetico, para producir energía adicional.

Dentro de este tipo de plantas pueden ubicarse las denominadas Plantas a Bocapozo las cuales utilizan el vapor de un único pozo, por lo cuál se instalan vecinos al mismo.

PLANTAS DE CICLO BINARIO

Existen Campos Geotérmicos cuyas condiciones de presión y temperatura son tales que producen unicamente agua caliente en el rango de los 90-180°C, por lo cuál no pueden utilizarse en turbinas convencionales para la producción de electricidad.

Para este tipo de recurso se utilizan las denominadas "Plantas Binarias", en las cuales el contenido calorifico del fluido geotérmico se transfiere mediante Intercambiadores de Calor ó Evaporadores hacia un fluido secundario de trabajo de tipo orgánico (isobutano, isopentano o mezcla de ellos) a partir del cual, producto de su bajo punto de ebullición se produce vapor de alta presión para mover una turbina, que también tiene un diseño particular y especifico para el manejo del fluido orgánico (Figura No.3.7)

Básicamente las plantas binarias se pueden dividir en tres tipos:

a) Plantas de Ciclo Binario Básico (Figura No.3.7a)

Utilizan un solo fluido secundario de trabajo y una sola presión de entrada a la turbina.

b) Plantas de Ciclo Binario de Doble Presión (Figura No.3.7c)

Estas plantas utilizan un solo fluido secundario de trabajo, que alimenta a un turbogenerador a 2 diferentes presiones, correspondiendo una de ellas a las condiciones a que opera el Evaporador que maneja el vapor geotérmico y la otra es la presión del precalentador que trabaja con agua caliente, lo cual, al igual que los

sistemas de vapor indirecto de doble flasheo, incrementa la eficiencia del ciclo de conversión.

c) Plantas de Doble Fluído Orgánico (Figura No.3.7d)

Operan con 2 circuitos binarios separados y con fluídos secundarios de trabajo diferentes, con lo cual también se incrementa la eficiencia del ciclo térmico.

SISTEMA DE CONVERSION DE LA PLANTA GEOTERMICA AHUACHAPAN

La planta geotermoeléctrica del Campo Geotérmico de Ahuachapán cuenta actualmente con 2 unidades de Simple Flasheo de 30 MW(e) cada una, y otra unidad de Doble Flasheo de 35 MW(e) de potencia nominal, en la cual alrededor de 20 MW(e) provienen del uso del vapor primario(media presión), mientras que 15 MW(e) son producidos a partir del vapor secundario.

En esta Tercera Unidad, según se presenta en la Figura No.3.8, una mezcla bifásica proveniente de los pozos geotérmicos(1), se introduce tangencialmente através de un Separador Ciclonico(2), situado en la plataforma del mismo cuya función es separar la fase vapor de la fase líquida, producto de la fuerza centrifuga que se genera en el interior del mismo y por la diferencia de densidades entre las dos fases.

El vapor que se obtiene en el Separador, el cual opera normalmente a una presión de 6 atmosferas, se le denomina de "media presión" y es conducido hacia los Colectores de Vapor(10) de la Central Geotermoeléctrica, através de tuberías de acero de 12" a 20" de diámetro,(7) las cuales estan provistas de aislamiento térmico y diseñados de forma tal que se puedan tolerar las dilataciones térmicas que produce el transporte de vapor a altas temperaturas (aprox.160°C). A través de toda esta tubería se colocan trampas de vapor, con el propósito de controlar automáticamente eventuales excesos de líquido condensado de tal forma de asegurar la pureza de la fase vapor que llega hasta la Turbina (19).

Para lograr que a la Turbina(19) llegue vapor libre de humedad y sales que puedan producir erosión en los alabes, se colocan además entre los Colectores de Vapor y la Turbina, las denominados "Separadores de Humedad ó Deshumidificadores"(11).

De igual forma, a la salida del Separador Ciclónico (2), se coloca una Válvula de Bola(3), cuya función es cerrar automáticamente el paso del vapor cuando hay problemas de condensado.

Una vez el vapor de varios pozos ha sido almacenado en el Colector de Vapor(10), en la cantidad y calidad requerida por la unidad de generación y transferida hacia los alabes de la Turbina (19), esta hace un trabajo a expensas de la reducción de la entalpía, presión, y temperatura del vapor, el cual es directamente proporcional al cambio de las condiciones

termodinámicas anteriormente especificadas, por lo cual las condiciones de salida del vapor exhausto son modificados y regulados al mínimo posible haciendo uso de un Sistema de Enfriamiento, compuesto por un Condensador(21) donde se reduce la condición del vapor hasta la presión atmosférica, para luego ser conducido hasta una Torre de Enfriamiento(23) donde el vapor es desechado a una temperatura alrededor de los 40°C, mientras que el condensado se integra al Ciclo de Enfriamiento.

El agua de media presión proveniente del Separador Ciclónico(2) pasa a través de un Tanque de Agua(4) el cual, en el caso de las Unidades No.1 y No.2 (Simple Flash) puede ser desechada a través de un Silenciador de Torres Gemelas(5), cuya principal función es la de realizar una separación de vapor adicional a presión atmosférica y eliminar el ruido del pozo, para que el agua así separada sea desechada a la atmósfera a través de cuerpos receptores ó puede ser transportada a través de tuberías hacia pozos de reinyección ó cuando el líquido separado posee una magnitud y calidad energética importante, se puede utilizar para generar vapor de baja presión.

En la 3ra. Unidad(doble flash) el líquido separado (media presión) es transportado por tuberías independientes hacia Vaporizadores ó Flashers(15) localizados dentro de la planta, en donde se obtiene vapor de baja presión (1.6 atmósferas) el cual es transportado hacia la Turbina de doble entrada de presión.(14)

Los pozos del Campo Geotérmico de Ahuachapán presentan valores de potencia eléctrica que varían entre los 3 y 7 MW(e) (ver Tabla No.3.1.) según las características termodinámicas (presión y temperatura) e Hidráulicas (permeabilidad) del reservorio geotérmico en la vecindad del pozo.

De acuerdo a las características de funcionamiento de la planta geotérmica y a la calidad del vapor alimentado por el reservorio de Ahuachapán, se requieren 2.5 Kg/s de vapor para producir 1 MW(e) y 36.6 Kg/s de agua separada para producir también en MW(e).

SISTEMA DE CONVERSION DE LA PLANTA GEOTERMICA DE BERLIN

En el Campo Geotérmico de Berlín se cuenta con una capacidad instalada de 10 MW(e), producidos a través de 2 plantas a contrapresión de 5 MW(e) cada una, para lo cual se utiliza el vapor proveniente de los pozos TR-2 y TR-3 y el agua residual se reinyecta en los pozos TR-8 y TR-14 y TR-1 (Figura No.3.9).

En el esquema de generación del campo, el vapor proveniente de los dos pozos productores es transportado a través de tuberías de 20" de diámetro hasta un Separador Ciclónico y la fase vapor se transporta, a través de tuberías independientes de 16" de diámetro hacia cada uno de los turbogeneradores, pasando previamente por un Separador de Humedad para asegurar la calidad de vapor alimentado.

El vapor exhausto es directamente descargado a la atmósfera, utilizando chimeneas con suficiente altura para la dilución de los gases incondensables, mientras que el líquido residual proveniente del Separador Ciclónico es reinyectado al campo.

TABLA 3.1

DATOS DE POZOS, CAMPO GEOTERMICO DE AHUACHAPAN

POZO	AGUA (Kg/s)	VAPOR (Kg/s)	TOTAL (Kg/s)	POTENCIA (MWe)	EFICIENCIA (%)
AH-17	0	16.4	16.4	6.6	100
AH-6	3.51	12.27	15.78	5.0 (*)	72.5
AH-26	11.1	8.30	19.40	3.6 (*)	45.0
AH-22	11.95	6.07	18.02	2.8	37.5
AH-27	43.55	14.6	58.15	7.0	30.0
AH-23	27.43	7.96	35.39	3.9	27.5
AH-20	49.18	12.07	61.25	6.2	25.0
AH-21	73.15	12.90	86.05	7.2	20.7
AH-24	30.54	5.20	35.74	2.9	20.5
AH-19	40.36	6.44	46.80	3.7	19.7
AH-31	68.40	10.70	79.1	6.1	19.5
AH-28	50.40	7.72	58.12	4.5	19.2
AH-32	60.00	13.10	73.10	5.3 (*)	19.0
AH-7	34.47	5.12	39.59	3.0	19.0
AH-1	49.59	5.61	55.20	3.6	16.3

NOTA (*) GENERACION SOLO CON VAPOR DE MEDIA, LINEA DE AGUA FUERA DE SERVICIO, POTENCIA PARA AH-32 INCLUYENDO AGUA 7.0 MWe.

FIGURA No.32-PROCESO DE PERFORACION DE UN POZO GEOTERMICO

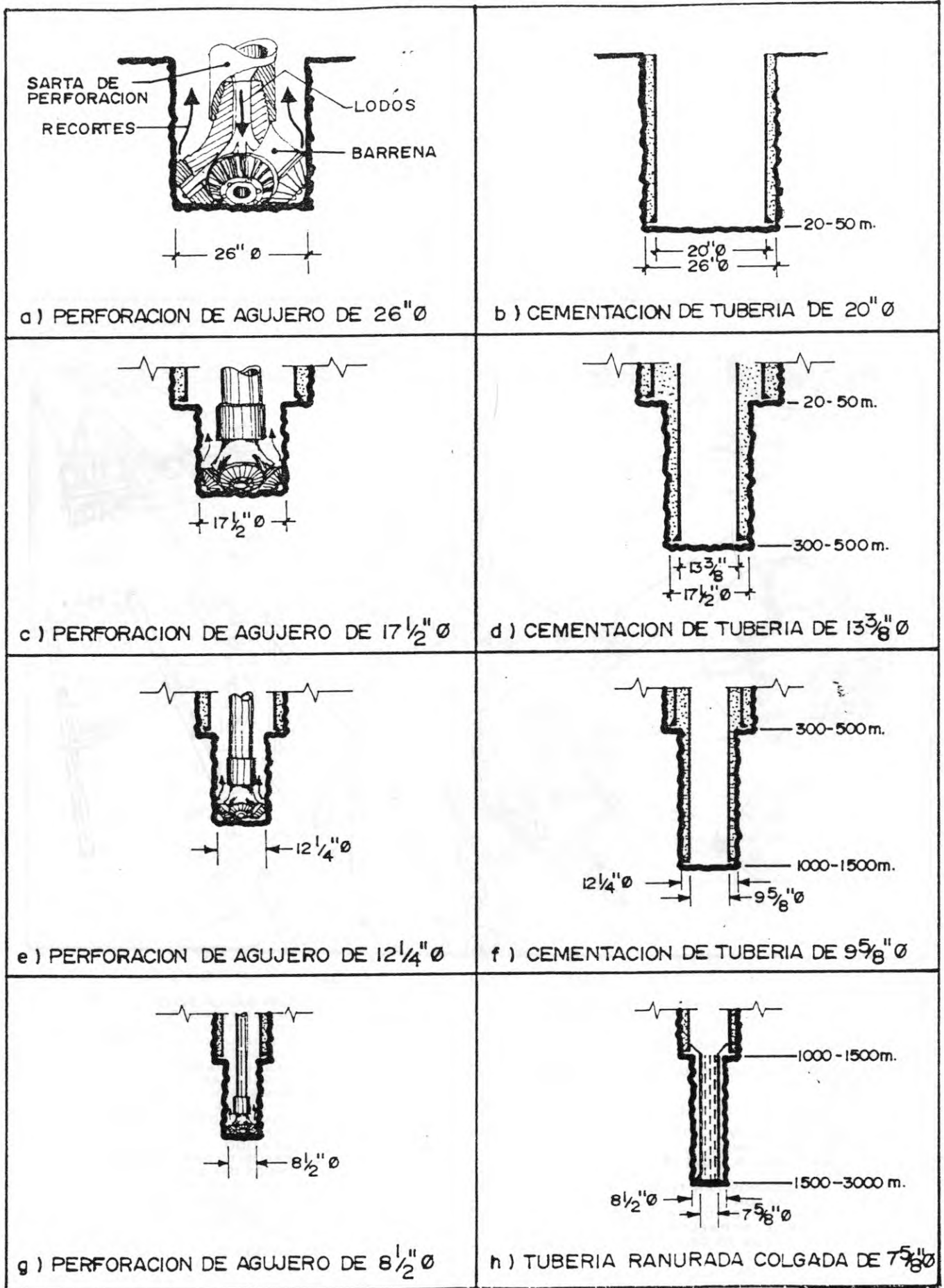
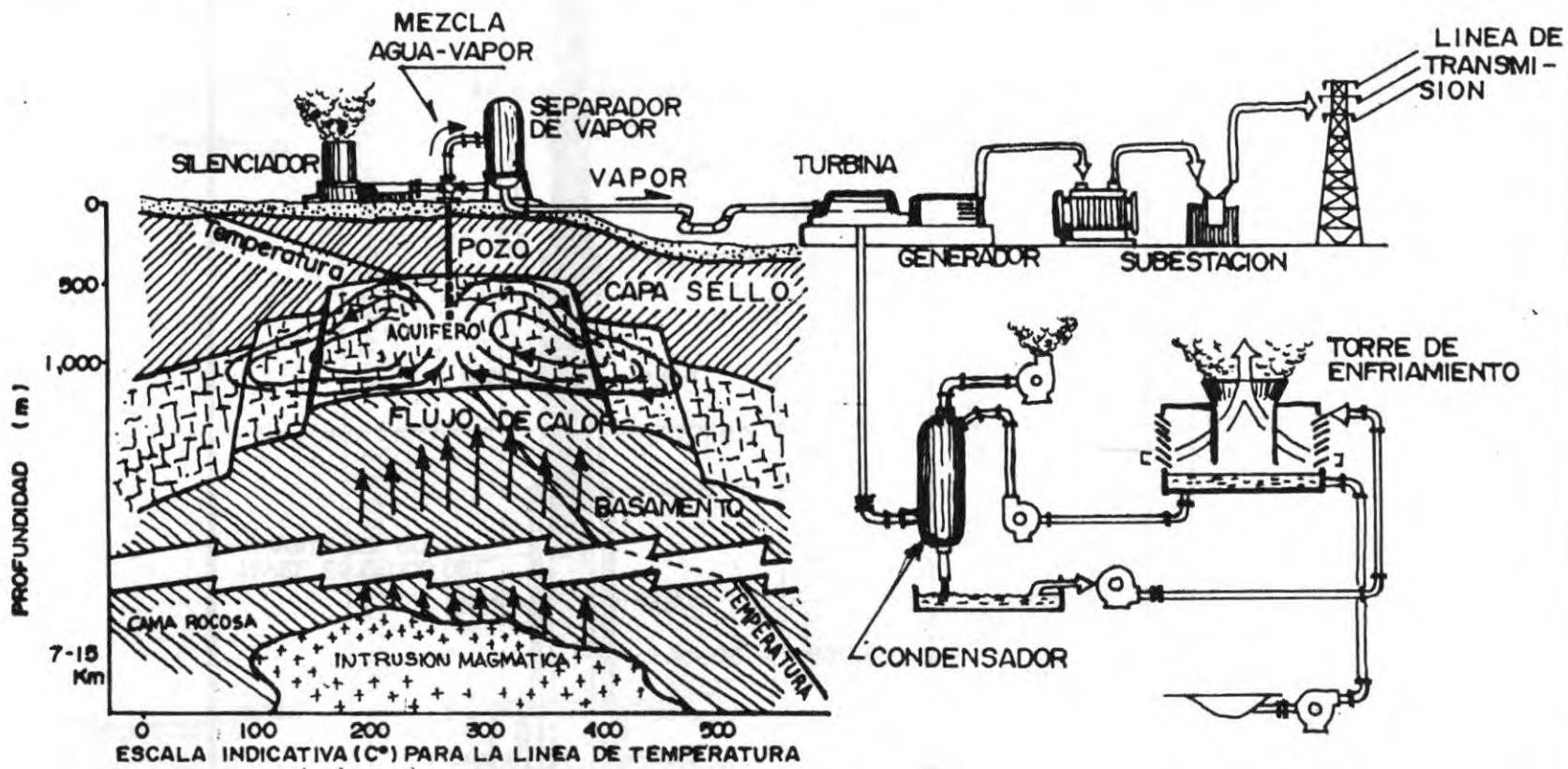


FIGURA N.º 34 **ESQUEMA GENERAL DE LA UTILIZACION GEOTERMICA**



TCV / 91

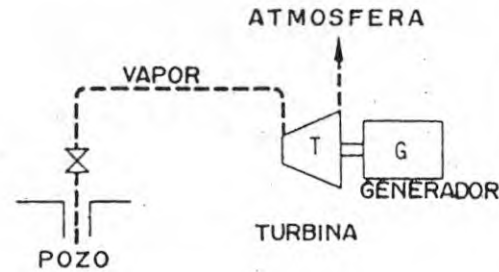
FIGURA No. 3.5:
DIFERENTES TIPOS
DE EQUIPOS PRINCIPALES
PARA PLANTAS GEOTERMICAS
"TURBINAS DE VAPOR"

SIMBOLOGIA

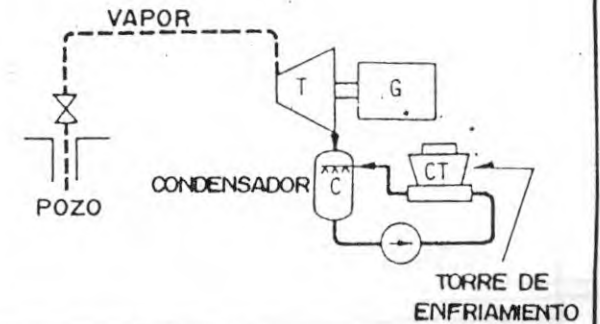
- S- SEPARADOR
- T- TURBINA
- G- GENERADOR
- CT- TORRE DE ENFRIAMIENTO
- F- FLASHER

VAPOR DOMINANTE

(a) PLANTA DE DESCARGA ATMOSFERICA (Turbina a contrapresion)

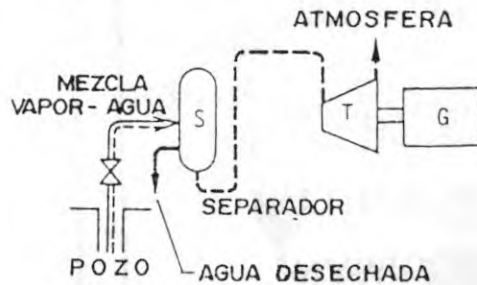


(b) PLANTA A CONDENSACION

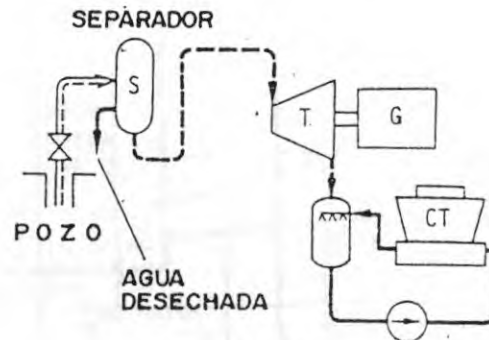


L I Q U I D O D O M I N A N T E

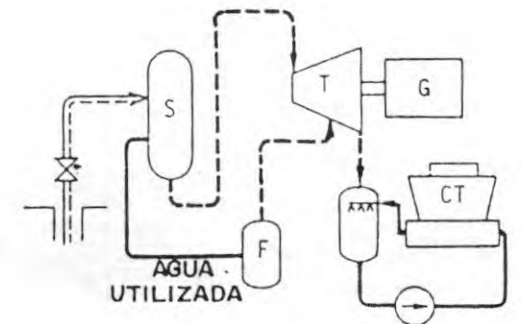
(c) PLANTA DE DESCARGA ATMOSFERICA DE "FLASHEO" UNICO.



(d) PLANTA A CONDENSACION DE "FLASHEO" UNICO.



(e) PLANTA A CONDENSACION DE DOBLE "FLASHEO."

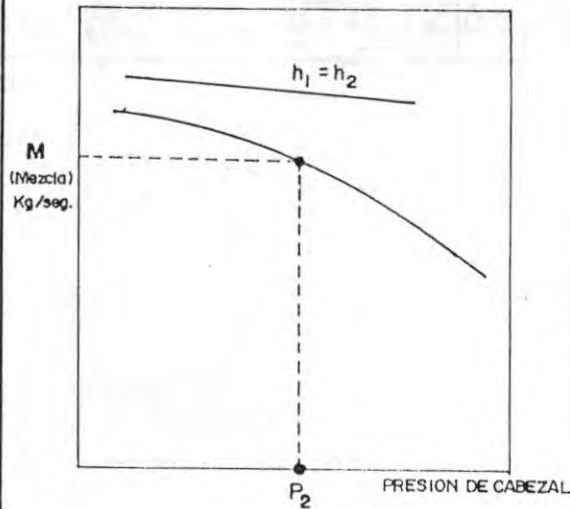


- 7 -

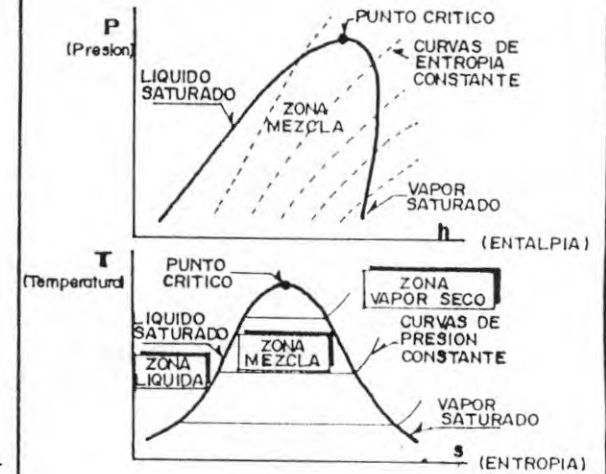
FIGURA No. 3.6

CICLOS TERMODINAMICOS EN LAS TURBINAS DE VAPOR

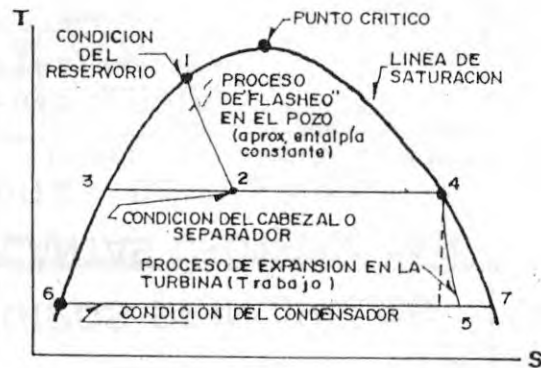
(a) CURVA TÍPICA DE DESCARGA DE UN POZO QUE PRODUCE MEZCLA AGUA VAPOR



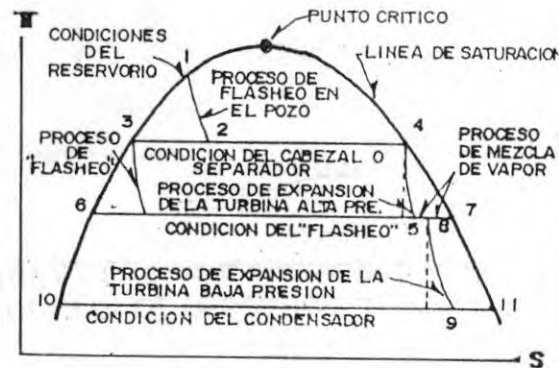
(b) DIAGRAMA PRESION-ENTALPIA Y TEMPERATURA-ENTROPIA PARA EL AGUA.



(c) PROCESO DE "FLASHEO" UNICO



(d) PROCESO DE DOBLE "FLASHEO"



(e) PROCESO DE VAPOR SECO

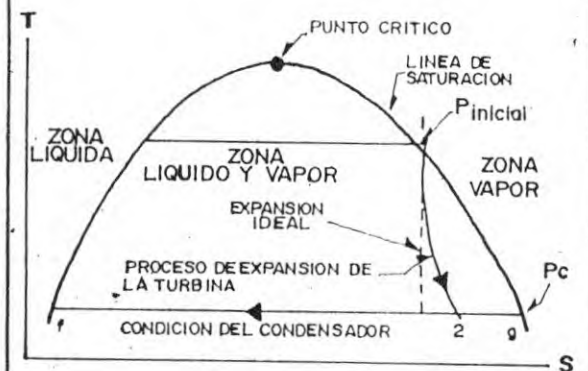
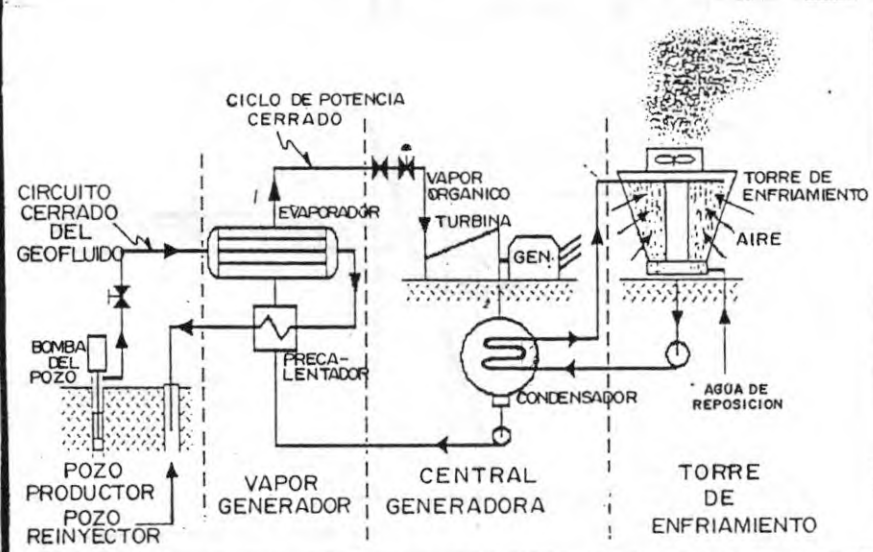
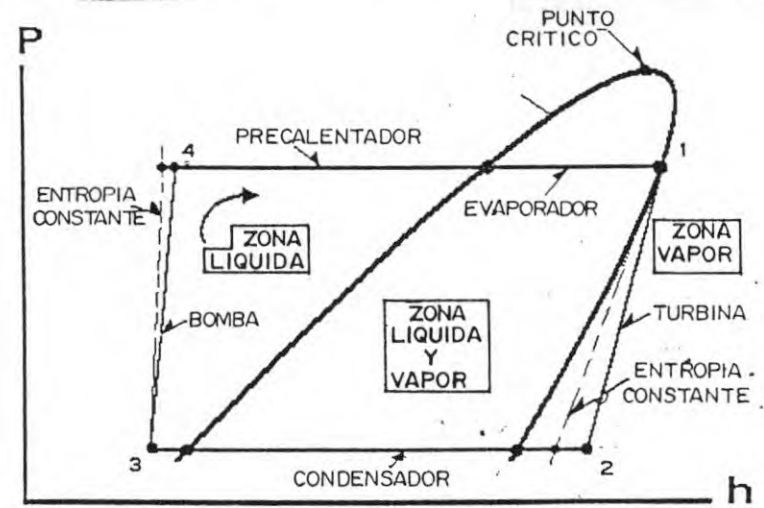


FIGURA No. 3.7 PLANTAS GEOTERMICAS DE CICLO BINARIO- TURBINAS DE FLUIDO ORGANICO Y DE VAPOR

(a) PLANTA GEOTERMICA BINARIA BASICA.

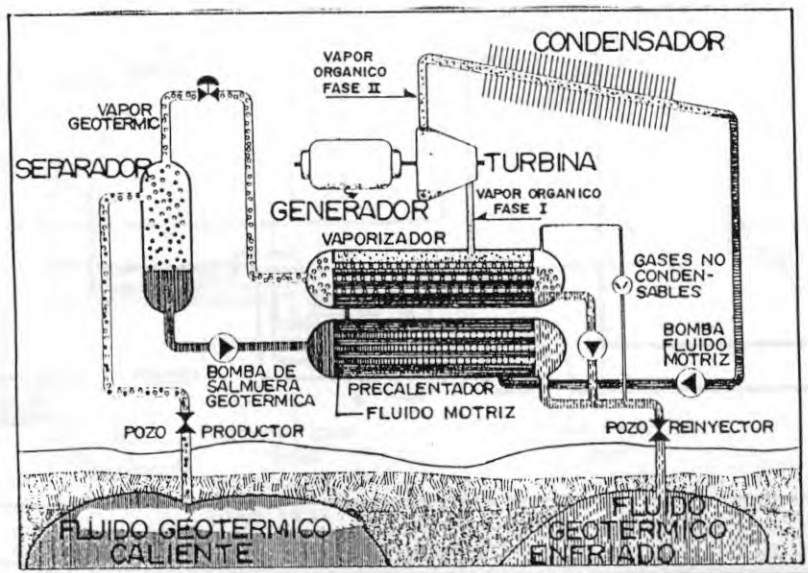


(b) CICLO TERMODINAMICO PARA UN SISTEMA BINARIO BASICO.

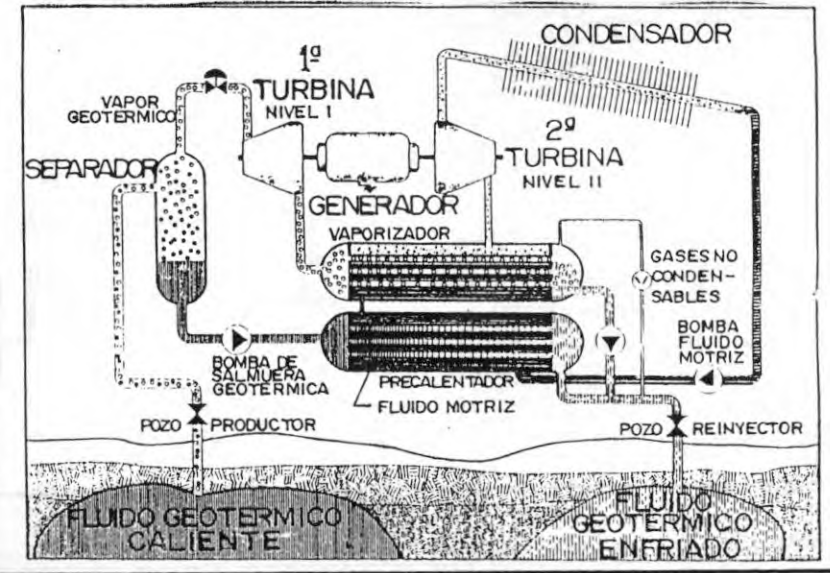


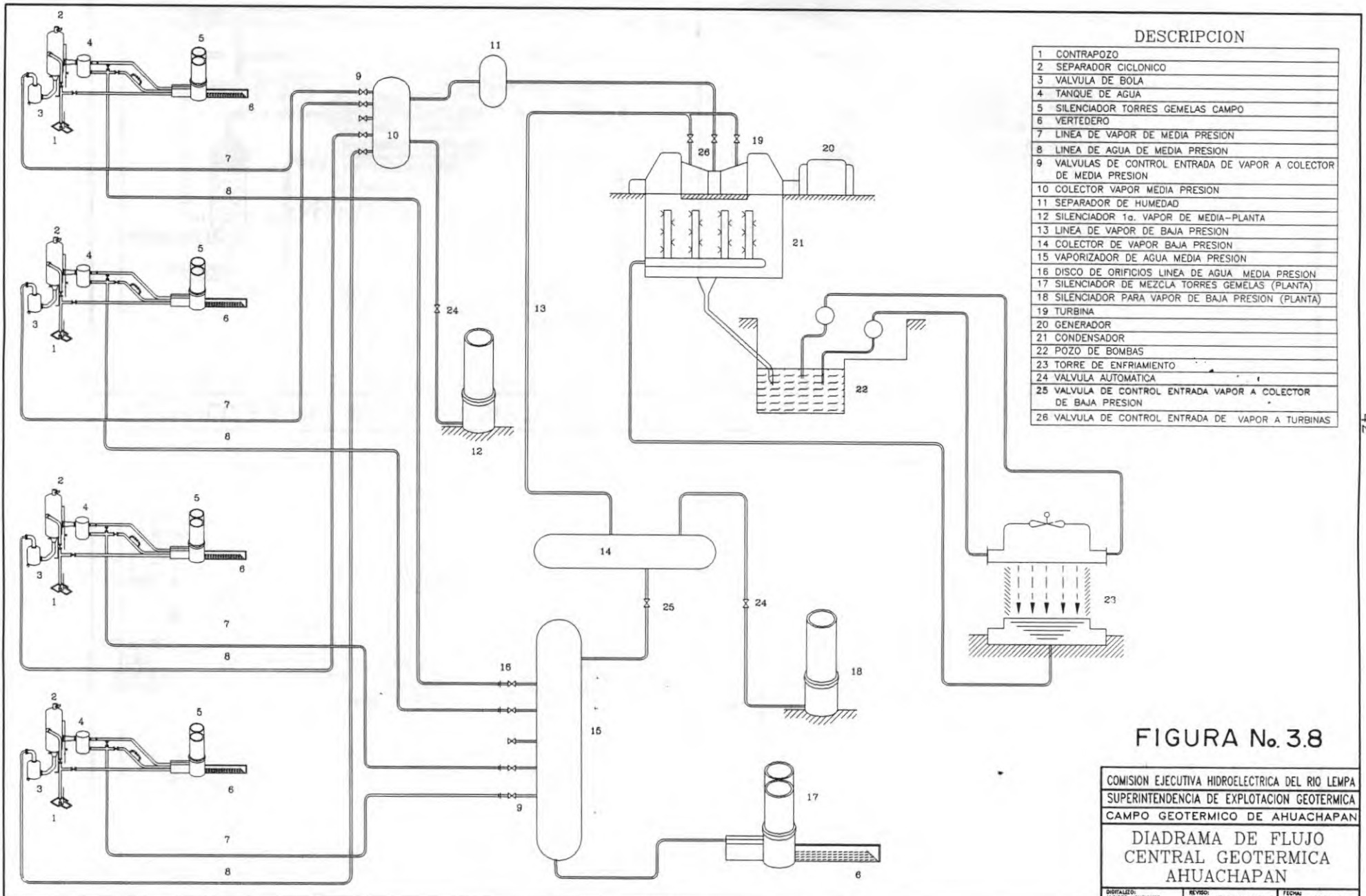
TECNOLOGIA RECIENTE EN SISTEMAS BINARIOS DE POTENCIA MEDIA-ALTA (Co. ORMAT INC.)

(c) PLANTA GEOTERMICA BINARIA DE DOS FASES



(d) PLANTA GEOTERMICA BINARIA DE DOS NIVELES (Turbinas de fluido organico y de vapor)





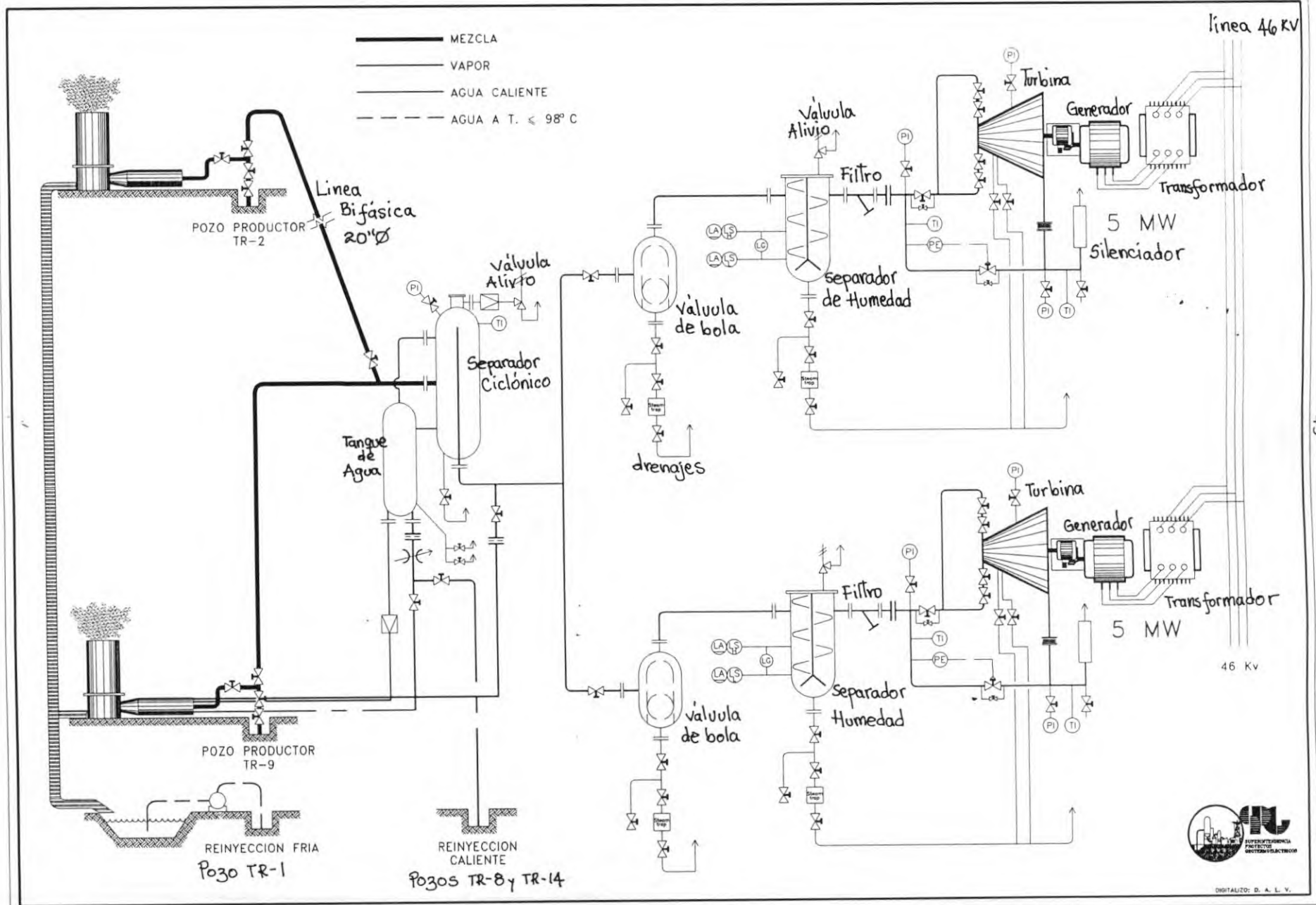
DESCRIPCION

1	CONTRAPOZO
2	SEPARADOR CICLONICO
3	VALVULA DE BOLA
4	TANQUE DE AGUA
5	SILENCIADOR TORRES GEMELAS CAMPO
6	VERTEDERO
7	LINEA DE VAPOR DE MEDIA PRESION
8	LINEA DE AGUA DE MEDIA PRESION
9	VALVULAS DE CONTROL ENTRADA DE VAPOR A COLECTOR DE MEDIA PRESION
10	COLECTOR VAPOR MEDIA PRESION
11	SEPARADOR DE HUMEDAD
12	SILENCIADOR 1a. VAPOR DE MEDIA-PLANTA
13	LINEA DE VAPOR DE BAJA PRESION
14	COLECTOR DE VAPOR BAJA PRESION
15	VAPORIZADOR DE AGUA MEDIA PRESION
16	DISCO DE ORIFICIOS LINEA DE AGUA MEDIA PRESION
17	SILENCIADOR DE MEZCLA TORRES GEMELAS (PLANTA)
18	SILENCIADOR PARA VAPOR DE BAJA PRESION (PLANTA)
19	TURBINA
20	GENERADOR
21	CONDENSADOR
22	POZO DE BOMBAS
23	TORRE DE ENFRIAMIENTO
24	VALVULA AUTOMATICA
25	VALVULA DE CONTROL ENTRADA VAPOR A COLECTOR DE BAJA PRESION
26	VALVULA DE CONTROL ENTRADA DE VAPOR A TURBINAS

FIGURA No. 3.8

COMISION EJECUTIVA HIDROELECTRICA DEL RIO LEMPA
 SUPERINTENDENCIA DE EXPLOTACION GEOTERMICA
 CAMPO GEOTERMICO DE AHUACHAPAN
 DIADRAMA DE FLUJO
 CENTRAL GEOTERMICA
 AHUACHAPAN
 DISEÑADO: ALCIDES MENDOZUEZ REVISOR: ING. ALEJANDRO QUINTANILLA C FECHA: 12 DE ENERO DE 1984

FIGURA No. 3.9 - PROYECTO BOCAPOZO I-BERLIN, 2x5 MW
DIAGRAMA DE FLUJO



CAPITULO IV

ASPECTOS ECONOMICOS DE LA GENERACION GEOTERMICA



ASPECTOS ECONOMICOS DE LA GENERACION GEOTERMICA

Los costos asociados con el Desarrollo y Explotación de un Campo Geotérmico se pueden dividir así:

- Costos de Inversión : Que incluye todas las erogaciones realizadas antes y durante la operación comercial del campo.
- Costos de Generación: Que incluyen las erogaciones realizadas después del inicio de la operación del campo.

En función de las obras de perforación de pozos, los costos de reparación o reposición de pozos y su respectiva conexión con el sistema de acarreo de fluidos hacia la planta, corresponden a los Costos de Generación, mientras que las perforaciones de producción para completar los requerimientos de vapor para la entrada de operación de la Central corresponden a los Costos de Inversión, incluyéndose dentro de éstos también los Costos de Exploración.

COSTOS DE EXPLORACION:

En la Figura No.2.1 del Capítulo II "Exploración, Desarrollo y Evaluación de un Campo Geotérmico" se presenta un resumen de los costos que incluyen las diferentes etapas de exploración, los cuales se resumen a continuación:

Estudio de Reconocimiento	US\$ 350,000 - US\$1,000,000
Estudio de Prefactibilidad	
a) sin perforaciones exploratorias	US\$1,000,000 - US\$2,000,000
b) Con perforaciones exploratorias	US\$4,000,000 - US\$5,000,000
Estudio de Factibilidad	<u>US\$12,000,000- US\$18,000,000</u>
Total	<u>US\$13,350,000 US\$24,000,000</u>

Estos costos incluyen tanto la exploración superficial, que comprende la ejecución de las investigaciones geocientíficas, como la exploración profunda, que corresponde a la perforación de pozos de exploración y obras asociadas, tales como de suministro de materiales y las obras civiles para la perforación y completamiento de los pozos a perforar, así como también los costos de evaluación del reservorio.

Los costos específicos de esta exploración profunda depende de la profundidad del reservorio, del tipo de formaciones, localización del sitio, diseño del pozo y disponibilidad de materiales y servicios.

En El Salvador, los costos más recientes por metro de perforación obtenidos en los últimos 5 años oscilan entre los US\$530 y US\$1300, habiéndose logrado establecer para los últimos años, valores promedio de US\$900/metro. (Tabla No.4.1).

Para el caso de las obras civiles asociadas a la perforación de pozos, es más difícil asignar un costo específico por área de construcción, puesto que el presupuesto depende de factores tales como la topografía del terreno, el uso de la tierra, el área de la plataforma y la longitud de la calle de acceso, entre otros. Sin embargo, en la Tabla No.4.2 se presenta una comparación de costos de las obras civiles para algunos pozos perforados en los campos geotérmicos de El Salvador, como un porcentaje del costo total, el cual puede ser tan bajo como el 7% y tan alto como el 30% de los costos de perforación.

COSTOS DE UTILIZACION DEL FLUIDO

Estos costos corresponden a la inversión necesarias para el desarrollo del campo, construcción e instalación de la planta geotermoeléctrica, hasta el inicio de su producción de energía eléctrica.

En lo que respecta al desarrollo del campo, se incluyen las perforaciones necesarias para completar, en base a la evaluación del potencial del campo realizada en la etapa de Factibilidad, la cantidad de vapor necesaria para la capacidad de la planta a instalar, incluyéndose además, el suministro de materiales, obras civiles y montaje de las tuberías para el acarreo y manejo de fluidos geotérmicos, suministro y montaje de equipos de separación de fluidos y las obras civiles para la construcción de calles de acceso y plataformas para la perforación de pozos.

Algunos costos unitarios para esta fase, en base a las experiencias en obras de este tipo realizadas en El Salvador, se presentan a continuación:

Perforaciones:	US\$ 900/m (incluyendo servicios y materiales)
Obras civiles:	10-35% del costo de la perforación

Tuberías/Sistemas Acarreo

Tipo	Suministro	Montaje
Bifásica (20" OD)	US\$200/metro	US\$230/metro
Bifásica (24" OD)	US\$300/metro	US\$300/metro
Vapor (20" OD)	US\$200/metro	US\$200/metro
Reinyección (12" OD)	US\$ 90/metro	US\$190/metro
Reinyección (8" OD)	US\$ 65/metro	US\$150/metro

Equipo de Separación: (Separador, tanque de agua, Desumificador, válvula de bola, etc)	US\$500,000 - US\$700,000/pozo
--	--------------------------------

Generalmente, el mayor costo para el desarrollo del campo lo representan las perforaciones y sus obras asociadas, tanto de producción como de reinyección, que alcanza porcentajes de hasta el 70% de la inversión total, para esta etapa del proyecto.

La construcción de la planta, también implica costos que varían considerablemente en función de factores tales como la localización, las características y tamaño de la planta, tamaño del equipo turbogenerador, extractor de gas y torres de enfriamiento, entre otros.

Para esta etapa de construcción de la planta se podrían definir algunos costos unitarios:

- Suministro de equipo electromecánico	70-80% del costo de la construcción de la planta
- Obras civiles asociadas:	5-10% del costo de la construcción de la planta
- Montaje de equipos electromecánico:	5-15% del costo de los equipos electromecánicos.
- Línea de transmisión	US\$75,000 - US\$90,000/Km
- Campamento	US\$400-US\$500/M ²

En la Tabla No.4.3 se presentan los costos y los porcentajes que estos representan, para la construcción de las Plantas Boca Pozo (2x5MWe) y a Condensación (2x27.5MWe) para el Campo Geotérmico de Berlín en El Salvador.

COSTOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

Los costos de operación y mantenimiento de una planta geotermoléctrica, incluyendo los costos del campo, depende tanto del tamaño y características de la planta como de las características del reservorio, e incluyen costos del personal, costos generales y de administración, costo de materiales y repuestos, seguros, costos de perforación y conexión de pozos de reposición así como también las reparaciones y mantenimiento de pozos.

Uno de los aspectos que inciden significativamente en el costo de operación y mantenimiento del campo es el decaimiento natural de las características termodinámicas (presión, temperatura, salinidad, caudal) del reservorio bajo un régimen de explotación que requiere de una periódica reparación y/o sustitución de pozos, una vez su vida promedio (15-20 años) ha sido alcanzada. Por otra parte, las características del fluido (temperatura, salinidad, corrosividad) también produce un daño gradual a las instalaciones, tanto a profundidad como de superficie, que en casos críticos requiere periódicamente de limpieza y reparación de los mismos. Uno de los principales problemas que se presentan en los reservorios Líquido Dominantes es la incrustación de calcita y sílice en los pozos, y en los equipos de transporte y separación, lo cual reduce y puede llegar hasta anular la producción de un pozo. También, en un campo geotérmico donde la abrasividad y acidez de los fluidos es alta, la corrosión puede ser un aspecto crítico a considerar puesto que ataca tanto las

tuberías internas del pozo como la cementación del mismo, llegándose a casos críticos en los cuales hay necesidad de sustituir al pozo.

A continuación se presentan algunos costos unitarios para la operación y mantenimiento del sistema campo-planta:

Administración:	20% del Costo de Personal.
Prestaciones Sociales:	60% de Sueldos y Salarios.
Operación:	3% de la Inversión.
Rehabilitación de Pozos:	US\$ 150,000 - US\$ 1,000,000/año.
Seguros e Impuestos:	0.35-0.40% de la Inversión total.
Costos Reposición Pozos:	US\$ 900/Metro.

Se estima que para una planta de 50 MWe la cantidad total de personal necesario para su operación y mantenimiento es del orden de los 100 trabajadores de los cuales el 60-70% corresponde al Sistema Planta, mientras que para una planta de 10 MWe, la cantidad de personal asciende a 40 trabajadores, aproximadamente.

Con base en las estimaciones anteriores se considera que los costos de operación y mantenimiento de una planta geotermoeléctrica de 50 MW(e) son del orden de los US\$2,000,000.00/año que representan alrededor del 1-2% del costo de la inversión total de la construcción de la planta.

Lógicamente los costos de operación y mantenimiento de una planta geotermoeléctrica tienden a incrementarse con el tiempo, principalmente a lo que el campo se refiere, debido a los mayores necesidades de habilitaciones y reparaciones de pozos que se requieren conforme se avance con la explotación del campo.

En la Tabla No.4.4 se presentan costos típicos para la Construcción de una Planta Geotermoeléctrica a Condensación (50-55MWe) y para otra a Contrapresión (10 MWe)

COSTOS DE INVERSION:

En geotermia, los costos específicos de inversión, los cuales incluyen también los costos de exploración, oscilan entre los US\$1200 y los US\$2500 por kilowatt instalado, dependiendo del tipo de planta a instalar y a la cantidad y tipo de pozos requeridos para suministrar el vapor.

A las plantas a contrapresión, cuya capacidad individual oscila entre los 5 y 10 MWe, les corresponde el límite inferior, para plantas a condensación de gran tamaño (20-110 MWe) los costos oscilan entre US\$1700 y US\$2200/KW, mientras que el límite superior, corresponde a tecnologías no convencionales del tipo binario.

Comparativamente, los Costos Unitarios de construcción para una planta geotermoeléctrica (US\$1200-US\$2500/Kw) son más pequeños que aquellos correspondientes a una Planta Hidroeléctrica (>US\$3,000/Kw) pero más altos que los costos de construcción de una planta térmica (US\$1600/Kw).

El parámetro que más incide sobre los costos de inversión de una planta geotermoeléctrica es la perforación de pozos, ya que su inversión inicial es alta, la cual además se ve influenciada por la productividad, la cual se considera en promedio de 5 MWe para cada pozo y del porcentaje de éxito de su perforación, que oscila entre el 60% y el 80%.

COSTOS DE GENERACION:

En El Salvador, los Costos de Generación son mayores para las plantas térmicas, y los menores costos se presentan en la generación hidráulica, colocándose en un valor intermedio la Generación Geotérmica.

Estos Costos de Generación por Kwh, para los últimos 5 años, por tipo de generación se presentan a continuación:

<u>Año</u>	<u>Hidráulica</u>	<u>Geotérmica</u>	<u>Térmica</u>
1989	US\$0.00606/KWh	US\$0.0149/Kwh	US\$0.04212/Kwh
1990	US\$0.00615/KWh	US\$0.0157/Kwh	US\$0.0673/Kwh
1991	US\$0.00797/KWh	US\$0.00969/Kwh	US\$0.0646/Kwh
1992	US\$0.01119/KWh	US\$0.02328/Kwh	US\$0.06809/Kwh
1993	US\$0.01144/KWh	US\$0.03128/Kwh	US\$0.06487/Kwh
Promedio	US\$0.00856/KWh	US\$0.01897/Kwh	US\$0.0614/Kwh

En el caso de la generación geotérmica, el 80-90% del costo de generación corresponden al Costo de Inversión, por lo cual se vuelve importante la reducción de los costos de Construcción de las plantas.

TABLA No. 4.1

COSTOS DE PERFORACION DE POZOS EN EL SALVADOR

POZO	PROF. (METROS)	COSTO MAT.(US\$)	COSTO SERV(US\$)	COSTO TOTAL US\$	COSTO/ METRO(US\$/mt)
CH-1	931	220,000	678,300	898,300	965
CH-7	1500	485,000	1,453,500	1,938,500	1292
CH-7BIS	1345	457,000	756,600	1,213,400	902
CH-8	2556	737,300	1,769,100	2,506,400	981
CH-9	2000	493,300	634,600	1,127,900	564
CH-A	2500	474,434	1,581,565	2,056,000	822
CH-D	1500	363,770	839,340	1,203,107	802
TR-14	2200	357,645	807,117	1,164,760	529
TR-8	2323	390,257	880,726	1,271,000	550
TR-7	2200	632,300	1,475,300	2,107,600	958
TR-10	2200	632,300	1,475,300	2,107,600	958

VALORES PROMEDIO

COSTO MATERIALES: 30% COSTO TOTAL
 COSTO SERVICIOS: 70% COSTO TOTAL
 COSTO/METRO: US\$ 850/METRO

TABLA No. 4.2

**COSTOS DE OBRA CIVILES(PLATAFORMAS Y ACCESOS)PARA LA
PERFORACION Y PRUEBAS DE POZOS GEOTERMICOS EN EL SALVADOR**

POZO	COSTO PERF. (US\$)	COSTO OBRA CIVIL(US\$)	PORCENTAJE (%)	AREA TOTAL* (mt ²)	COSTO/mt ² (US\$/mt ²)
CH-A	2,056,000	153,400	7.50	-	-
CH-D	1,203,100	251,000	17.30	-	-
TR-14	1,164,760	164,000	12.30	17,000	10.00
TR-8	1,300,000	518,730	29.00	24,750	21.00
TR-10	2,320,000	738,600	24.20	19,040	39.00
TR-7	2,320,000	768,433	33.10	17,330	44.00

* INCLUYENDO PLATAFORMA Y CAMINO DE ACCESO

COSTOS BASADOS EN UN AREA DE PLATAFORMA DE 1.70 Ha = 10,000 mt²

TABLA No. 4.3

**DISTRIBUCION DE COSTOS DE INSTALACION
PLANTAS GEOTERMoeLECTRICAS: EXPERIENCIA EN EL SALVADOR**

DESARROLLO DEL CAMPO	BOCAPOZO (10 MW)	CONDENSACION (50 MW)
PERFORACIONES	60-75%	65-70%
PLATAFORMAS Y CALLES DE ACCESO	10-20%	5-10%
SUMINISTRO/MONTAJE EQUIPO	1-2%	5-10%
SUMINISTRO TUBERIAS ACARREO	2-4%	10-15%
OBRAS CIVILES/MONTAJE TUBERIAS	5-10%	5-10%
	56-58%	40-45%

CONSTRUCCION PLANTA	BOCAPOZO (10 MW)	CONDENSACION (50 MW)
SUMINISTRO EQUIPO ELECTROMECC.	70-80%	75-80%
MONTAJE EQUIPOS	5-15%	10-15%
OBRAS CIVILES	5-10%	5-10%
LINEA TRANSMISION	1-4%	10-15%
CAMPAMENTO	2-3%	5-10%
	42-44%	55-60%

COSTOS APROXIMADO:	
BOCAPOZO	CONDENSACION
US\$ 1200-1300/KW	US\$ 2200-2500/KW
(US\$ 12-13 MILLONES)	(US\$ 105-110 MILLONES)

TABLA No. 4.4

**COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE PLANTAS
GEOTERMoeLECTRICAS**

PLANTA A CONDENSACION 55 MW	PLANTA A CONTRAPRESION 10 MWe	
DESARROLLO DEL CAMPO	COSTOS (US\$ x 10E3)	COSTOS (US\$ x 10E3)
. PERFORACIONES	32,900	5,200
. PLATAFORMAS Y CALLES DE ACCESO	2,500	1,300
. SUMINIS/MONT.EQUIPO BOCAPOZO	2,600	50
. SUMINISTRO TUBERIA ACARREO	7,200	120
. OBRA CIVIL/MONTAJE TUBERIA	2,200	430
TOTAL CAMPO	47,200	7,100
CONSTRUCCION PLANTA		
. SUMINISTRO EQUIPO ELECTROMECC.	48,000	4,100
. MONTAJE DE EQUIPOS	6,500	560
. OBRAS CIVILES	5,000	365
. LINEAS DE TRANSMISION	1,000	215
. CAMPAMENTO	2,400	170
TOTAL PLANTA	62,900	5,410
TOTAL COSTO DIRECTO CAMPO PLANT		
	110,100	12,510

COSTO KW INSTALADO: $\frac{\text{US\$ 2000}}{\text{KW INSTALADO}}$

$\frac{\text{US\$ 1250}}{\text{KW INSTALADO}}$

CAPITULO V

UTILIZACION DE LA ENERGIA
GEOTERMICA EN EL SALVADOR

UTILIZACION DE LA ENERGIA GEOTERMICA EN EL SALVADOR

Desde el año de 1975, la energía geotérmica ha sido utilizada en El Salvador estrictamente como fuente para generar electricidad, alcanzando en la década de los 80's porcentajes de generación, sobre el total generado mayores del 30% y a la fecha, dicho porcentaje alcanza el 13%, lo cual ha sido un importante factor en la economía de la producción de energía eléctrica en el país y tal participación representa una de las más altas en el mundo.

En este sentido, en los próximos 5 años se espera que la geotermia pueda agregar al Sistema de Generación unos 100 MW(e) adicionales de potencia.

Actualmente los recursos geotérmicos existentes en El Salvador se explotan comercialmente principalmente mediante la utilización de Sistemas a Condensación (Campo Geotérmico de Ahuachapán) y Sistemas a Contrapresión (Campo Geotérmico de Berlín), donde la selección de este último, aunque es menos eficiente que el Sistema a Condensación, obedece particularmente a razones de carácter técnico-económico, puesto que por un lado, desde el punto de vista técnico se conoce de forma adelantada, el comportamiento del campo bajo efectos de explotación, enriqueciendo el conocimiento del recurso, y por otro, desde el punto de vista financiero, permite iniciar en forma temprana la recuperación de la inversión relativa a la exploración, tanto de superficie como a profundidad, previo a la explotación comercial a gran escala.

En la Figura No.5.1. se resume el Desarrollo Geotérmico en El Salvador, incluyéndose las proyecciones de equipamiento a futuro.

DESARROLLO DE LA ENERGIA GEOTERMICA EN EL SALVADOR

La exploración de los recursos geotérmicos existentes en El Salvador se inicio en el año de 1954, con una serie de estudios regionales de reconocimiento realizados por expertos de las Naciones Unidas que dieron como resultado la identificación de alrededor de 70 sitios y 18 áreas de interés geotérmico (Figura No.5.2) cinco de las cuales, Ahuachapán-Chipilapa, Berlín (incluyendo Parras Lempa y Santa Rosa de Lima) Coatepeque-Valle de Zapotitan, San Vicente y Chinameca, fueron definidos como los prospectos de mayor interés exploratorio, realizando las primeras perforaciones exploratorias en tales áreas a partir del año de 1968 (Tabla No.5.1).

El potencial geotérmico del país, incluyendo los recursos que puedan ser considerados apropiados para la producción de electricidad, ha sido preliminarmente evaluado en alrededor de los 400 MW(e) que incluye todas a aquellas áreas localizadas en la cadena volcánica reciente que atraviesa el país en dirección Este-Oeste paralelo a la costa del Pacífico, la cuál se denomina "Graben Central" (Figura No.5.2).

En función de los resultados de las perforaciones exploratorias, realizadas en la etapa de Reconocimiento Regional, el Area de Ahuachapán fue seleccionada como primera prioridad para su desarrollo, realizándose positivamente en el año de 1970, el Estudio de Factibilidad.

En el año de 1971, con financiamiento del Banco Mundial se inició el diseño de la Primera Planta a Condensación de media presión y simple flasheo con una capacidad de 30 MWe, para el Campo de Ahuachapán, la cual inició su operación comercial en el año de 1975, duplicándose su capacidad al año siguiente, con la instalación de otra unidad similar cuyo proceso de instalación fue acelerado debido a que en el año de 1973 se produjo una crisis en los precios del petróleo, impulsando el desarrollo de los recursos naturales en el País.

Entre 1977 y 1980, fue realizado un tercer desarrollo que culminó con las instalación de una Tercera Unidad de 35 MW(e), de doble flasheo, llegando la capacidad instalada en el campo, a los 95 MW(e). Sin embargo, debido a las exigencias de energía en el País, producto de la situación política del país en la década de los 80's, obligó a la sobreexplotación del recurso, sin el respectivo respaldo de pozos productores, planeados para la explotación del reservorio, causando un decrecimiento de las condiciones termodinámicas del campo que obligó a reducir su capacidad productiva a la mitad de la capacidad instalada, limitando la extracción másica del campo.

Posteriormente, en el año de 1980 se realizó una comparación entre las características geotérmicas de las Areas de Berlín, Chinameca y San Vicente, para elegir la más favorable para un Segundo Desarrollo Geotérmico en el País, seleccionándose el área de Berlín debido a que existían 2 pozos productores que habían interceptado un Reservorio Líquido Dominante con temperaturas del orden de los 300°C, que fue comprobado mediante un exitoso programa de perforaciones, en el cual 4 de los 5 pozos perforados resultaron productores, con una producción comprobada de 28-30 MWe, para sistemas a condensación.

El Estudio de Factibilidad del Campo Geotérmico de Berlín fue concluido en enero de 1982 y demostró la factibilidad de instalar una planta a condensación de 55 MW(e). Sin embargo, la situación socio-política del País impidió la implementación del proyecto, atrasando su ejecución, pero en el año de 1987 fue iniciado un proyecto parcial para explotar el vapor disponible en el Campo mediante unidades a contrapresión de 5 MW(e) cada una, las cuales iniciaron su producción comercial en el año de 1992.

De esta forma, El Salvador es uno de los países en el que mejor papel ha jugado la geotermia, dentro del Sistema de Generación Eléctrica, llegando a producir valores mayores del 30% de la generación total del País, valores que en los últimos años no ha sido menor del 13%. (Tabla N° 5.2).

SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL SALVADOR Y LA CONTRIBUCIÓN DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS.

El Sistema de Generación Eléctrica en El Salvador está compuesto principalmente por Plantas Hidroeléctricas, Plantas Geotermoeléctricas y Plantas Térmicas, (Figura No.5.3) con una capacidad instalada de 817 MW(e) para finales de 1994, siendo la disponibilidad actual real del 75 al 85%, debido a limitaciones en los tres tipos de plantas, contra una demanda de alrededor de los 475-500 MWe y valores históricos puntuales de hasta 550 MW(e) (abril/1994).(Tabla No. 5.3)

De la capacidad instalada, el 47.5% corresponde a las Plantas Hidroeléctricas, el 39.7% a las Térmicas y el 12.8% a las Geotermoeléctricas, donde ésta última contribuye con 105 MWe instaladas en los Campos Geotérmicos de Ahuachapán y Berlín.

El crecimiento de la demanda de energía eléctrica para el período 1994-2000 ha sido estimado en aproximadamente en el 10% por año hasta 1995 y a partir de 1996 hasta el año 2000, en el 8.8%, para lo cual se cuenta con un Plan de Expansión Energética que tiene como objetivo satisfacer tal demanda.

PLAN DE EXPANSION ENERGETICO 1994-2010

Con el propósito de satisfacer tanto la actual como la futura demanda de electricidad en el País, ha sido desarrollado un Plan de Expansión de mínimo costo, el cual pretende incrementar para el año 2000, la actual capacidad instalada en aproximadamente 700 MWe de los cuales, 100 MW(e) corresponden a la contribución geotermoeléctrica.

En la Tabla No.5.4 se presenta el detalle del plan de equipamiento propuesto, en el cual se puede apreciar que en los próximos 3 años, la contribución geotermoeléctrica representa mas del 55% del incremento de capacidad a instalar, a partir del incremento de la potencia existente en los Campos de Berlín y Ahuachapán, para lo cual serán realizadas inversiones del orden de los US\$200 millones en el sector geotérmico únicamente.

PROGRAMA DE EXPANSION GEOTERMICO

Dentro del Plan de Generación vigente en El Salvador, es necesario incrementar el desarrollo de los recursos geotérmicos para lo cual actualmente se tienen en ejecución importantes proyectos en los Campos Geotérmicos de Ahuachapán, Berlín y San Vicente.

Campo Geotérmico de Ahuachapán:

Este campo se localiza en la Zona Occidental de El Salvador, cerca de la frontera con Guatemala.

Actualmente cuenta con 32 pozos perforados, 15 de los cuales son productores, con profundidades que oscilan entre los 600 y 1500 metros con temperaturas de hasta 240°C y una capacidad instalada de 95 MW(e). Sin embargo, debido a que el desarrollo del campo no fue debidamente soportado con el respectivo incremento de pozos productores de respaldo, trajo como consecuencia la sobre explotación del campo, con la consecuente disminución y decrecimiento de las condiciones termodinámicas del reservorio, por lo cual actualmente únicamente se producen alrededor de los 45 MW(e) para evitar un mayor decrecimiento en la potencia disponible.

Ante lo anterior y como consecuencia de la necesidad de incrementar la contribución del aporte geotérmico dentro del Plan de Expansión Energética en El Salvador, se encuentra en ejecución el Proyecto denominado "Estabilización Integral del Campo Geotérmico de Ahuachapán" cuyo principal objetivo es restablecer las condiciones termodinámicas del reservorio y recuperar la potencia del Campo en alrededor de los 40 MWe, de tal forma que se pueda alcanzar una producción del orden de los 85 MWe, para lo cual el proyecto incluye:

- a) Perforación de 10 pozos productores en la zona sureste del campo y 4 pozos reinyectores, en la Zona Este del Campo, para completar la capacidad de manejo de efluentes requerida.
- b) Implementación de la reinyección, en el Area de Chipilapa, vecina al Campo de Ahuachapán, en la cual existen pozos perforados con una capacidad de absorción comprobada del orden de los 300 Kg/Seg, con lo cual se podría disponer de la actual masa de agua residual que se maneja en el Campo de Ahuachapán.
- c) Readecuación del Sistema de Acarreo, a efecto de eliminar o al menos reducir pérdidas de vapor en las líneas de alimentación a la planta.
- d) Mejoras y rehabilitación de los equipos principales de la planta con el propósito de incrementar la eficiencia del Sistema de Conversión de Energía.

La recuperación de potencia del Campo requerirá de una inversión de aproximadamente US\$ 60 millones y el proyecto tendrá una duración aproximada de 2 años.

Campo Geotérmico de Berlín:

El Campo Geotérmico de Berlín se localiza en la Zona Oriental de El Salvador y actualmente cuenta con 8 pozos perforados, 4 de los cuales son productores, con una potencia conjunta de alrededor de 28-30 MWe, 3 son reinyectores con una capacidad global de absorción del orden de los 100 Kg/Seg y uno es exploratorio, a partir de los cuales se generan desde el año de 1991, 10 MWe, mediante 2 plantas a contrapresión (boca pozo) instalados en el Campo. La profundidad de estos pozos oscila entre los 1400 y 2400 metros, con temperatura base del reservorio del orden de los 300°C.

Con el propósito de cumplir con los requerimientos de potencia del Plan de Expansión Vigente, se encuentran en ejecución, como parte del desarrollo y explotación del campo, los siguientes proyectos:

- a) Instalación 3a. Unidad Bocapozo (5 MWe): incluye la instalación de una Unidad a Contrapresión, para aprovechar el vapor existente en el pozo TR-5, incluyéndose además la perforación de 2 pozos reinyectores y la construcción del respectivo sistema de acarreo de fluidos (vapor y agua de reinyección).

El inicio de la generación de esta potencia adicional ha sido programada para principios de 1996 y requerirá de una inversión aproximada de US\$10.50 Millones.

- b) Primer Desarrollo a Condensación (2 x 27.5 MWe): tiene como propósito la instalación de una Planta a Condensación compuesta de 2 módulos de 27.5 MW(e) cada una, para lo cual el proyecto incluye la perforación de 10 pozos productores y 4 reinyectores, la construcción del respectivo sistema de acarreo y la construcción e instalación de la línea de transmisión eléctrica e infraestructura asociada.

La inversión para el proyecto asciende a US\$125 Millones y se espera que las unidades entren en generación a principios de 1998.

- c) Segundo Desarrollo a Condensación: Este proyecto se encuentra actualmente en la fase de gestión del respectivo financiamiento y tiene como objetivo evaluar la factibilidad técnico-económica de la expansión de la futura capacidad instalada en el campo, incrementandola en 25 MWe adicionales a los que serán instalados dentro del Primer Desarrollo a Condensación.

En este sentido, el proyecto incluye la ejecución de estudios técnico científicos de detalle complementarios para ampliar el conocimiento y delimitación del campo, la perforación de 2 ó 4 pozos de exploración-producción para verificar el potencial del área proyectable, lo cual requerirá de una inversión de aproximadamente US\$6.0 Millones, programándose la finalización de la evaluación de la factibilidad de un Segundo Desarrollo a Condensación, para finales de 1996 o principios de 1977.

En función de los resultados y de acuerdo con la programación establecida para el desarrollo del campo, se espera que la instalación de una Segunda Unidad a Condensación sea puesta en operación en el Campo de Berlín a principios del año 2,000, incluyéndose dentro de este período, la gestión de financiamiento.

AREA GEOTERMICA DE SAN VICENTE

En esta Area se están realizando actualmente los Estudios de Factibilidad y se cuenta con un pozo exploratorio de 1300 metros de profundidad que interceptó un reservorio geotérmico con una temperatura del orden de los 230°C.

En este sentido, el proyecto incluye la realización de estudios geocientíficos de detalle, la perforación de 4 a 5 pozos exploratorios, la evaluación del potencial y el respectivo estudio para la factibilidad de aprovechamiento del recurso para la generación de electricidad.

El Proyecto finalizará a finales de 1997 o principios de 1998, con una inversión del orden de los US\$ 13.0 Millones y en función de los resultados será iniciada la respectiva gestión de financiamiento para la ejecución del Primer Desarrollo a Condensación en el Area, para lo cual ha sido programado el inicio de la generación en el año 2,000. Sin embargo, dependiendo del resultado de las perforaciones exploratorias a realizar en el marco del proyecto de factibilidad, podría programarse la instalación de Plantas a Boca Pozo, para la explotación temprana del recurso.

TABLA Nº 5.1
PRIMERAS PERFORACIONES EXPLORATORIAS EN EL SALVADOR

AREA	AÑO	NOMINACION	PROFUND. (METROS)	TEMP.MAX. (°C).	OBSERVACIONES
AHUACHAPAN	1968	AH-1	1195	240	PRODUCTOR (50 Kg/Seg, 890 Kj/Kg)
BERLIN	1977	PBL-1	525	160	POZO GRADIENTE TERMICO
	1977	PBL-2	400	-	"
	1978	PBL-3	406	-	"
	1968	TR-1	1458	208	EXPLORATORIO, POCA PRODUCC.
	1978	TR-2	1903	297	PRODUCTOR(60 Kg/Seg, 1700 Kj/Kg)
LEMPA	1968	L-1	619	-	EXPLORATORIO
CHIPILAPA	1976	CHE-1	449	218	POZO GRADIENTE TERMICO
	1976	CHE-1	180	-	"
	1968	CH-1	985	210	EXPLORATORIO
SALITRE	1968	S-1	865	-	EXPLORATORIO
SAN VICENTE	1978	PESV-1	551	-	POZO GRADIENTE TERMICO
	1978	PESV-2	506	-	"
	1979	SV-1	1346	230	EXPLORATORIO
CHINAMECA	1977	PECH-1	221	-	POZO GRADIENTE TERMICO
	1978	PECH-2	552	-	"
	1978	CHI-1	753	163	EXPLORATORIO
	1979	CHI-2	2002	183	EXPLORATORIO

TABLA No.5.2 GENERACION BRUTA POR TIPO DE FUENTE 1975-1994

AÑO	HIDRAULICA		GEOTERMICA		TERMICA		TOTAL	
	GWH	%	GWH	%	GWH	%	GWH	%
1975	355.3	36.8	72,3	7.5	430.1	55.7	965.9	100
1976	389.7	35.5	279.8	25.4	538.3	39.1	1099.3	100
1977	482.2	38.9	400.1	32.3	429.8	28.8	1238.4	100
1978	829.3	60.3	391.0	28.4	358.1	11.3	1375.9	100
1979	1079.1	73.0	392.2	26.5	^{7.8} 155.6	0.5	1479.1	100
1980	1047.3	71.7	390.5	26.7	7.8	1.5	1460.4	100
1981	730.3	52.1	612.3	43.6	22.6	4.3	1403.0	100
1982	830.3	58.3	513.4	36.0	60.0	5.7	1424.9	100
1983	951.3	61.8	523.0	34.0	81.2	4.3	1539.8	100
1984	1017.4	63.0	531.6	33.0	64.8	4.0	1613.8	100
1985	1171.1	68.6	421.9	24.7	113.0	6.6	1706.0	100
1986	1231.0	73.7	372.8	22.3	67.5	4.0	1671.3	100
1987	1133.3	59.9	434.5	23.0	324.3	17.1	1892.1	100
1988	1302.3	65.7	430.0	21.7	249.1	12.6	1981.4	100
1989	1425.5	70.2	440.9	21.7	164.1	8.1	2030.5	100
1990	1647.8	74.3	418.7	⁸ 18.9	150.7	6.8	2217.2	100
1991	1268.5	55.2	424.5	18.5	504.1	26.3	2297.1	100
1992	1415.7	59.4	390.9	16.4	575.3	24.2	2381.9	100
1993	1518.1	54.6	379.6	13.6	884.9	31.8	2782.7	100
1994	1859.1	60.4	375.9	12.2	845.1	27.4	3080.1	100

TABLA No. 5.3
COMPOSICION DEL SISTEMA DE GENERACION EN EL SALVADOR

RECURSO/CENTRAL	CAPACIDAD INSTALADA (MWe)	PORCENTAJE %	CAPACIDAD DISPONIBLE (MWe)	PORCENTAJE %
HIDROELECTRICA	388.00	47.46	378.00	
GUAJOYO	15.00		15.00	56.29
CERRON GRANDE	135.00		135.00	
5 DE NOVIEMBRE	81.40		72.00	
15 DE SEPTIEMBRE	156.60		156.00	
GEOTERMICA	105.0	12.84	63.00	
AHUACHAPAN	95.00		58.00	9.40
BERLIN	10.00		5.00	
TERMICA	324.50	39.69	231.00	
ACAJUTLA (VAPOR)	63.00		58.00	34.34
ACAJUTLA (GAS)	157.10		138.00	
MIRAVALLE	18.60		12.00	
SOYAPANGO	53.90		0.00	
SAN MIGUEL	31.90		23.00	
TOTAL SISTEMA	817.50	100.00	672.60	100

TABLA No.5.4
PLAN DE EQUIPAMIENTO/EXPANSION ENERGETICA 1994-2010

AÑO	PLANTA	TIPO	CAPACIDAD (MW)
1994	SOYAPANGO	DIESEL	11
1995	NEJAPA	DIESEL	80
	AHUACHAPAN	GEOTERMICA	5
	BERLIN	GEOTERMICA	5
1996	AHUACHAPAN	GEOTERMICA	8
1997	AHUACHAPAN	GEOTERMICA	10
	BERLIN	GEOTERMICA	26
	BERLIN	GEOTERMICA	26
1998	AHUACHAPAN	GEOTERMICA	20
2000	5 DE NOVIEMBRE	HIDRAULICA	120
		CARBON	141
2004		CARBON	141
2008		CARBON	141
T O T A L			734 MW(e)

HIDROELECT: 120 Mw (16.40%) GEOTERMICA: 100 MW (13.60%) TERMICA: 514 Mw (70.10%)

FIGURA No.5.1

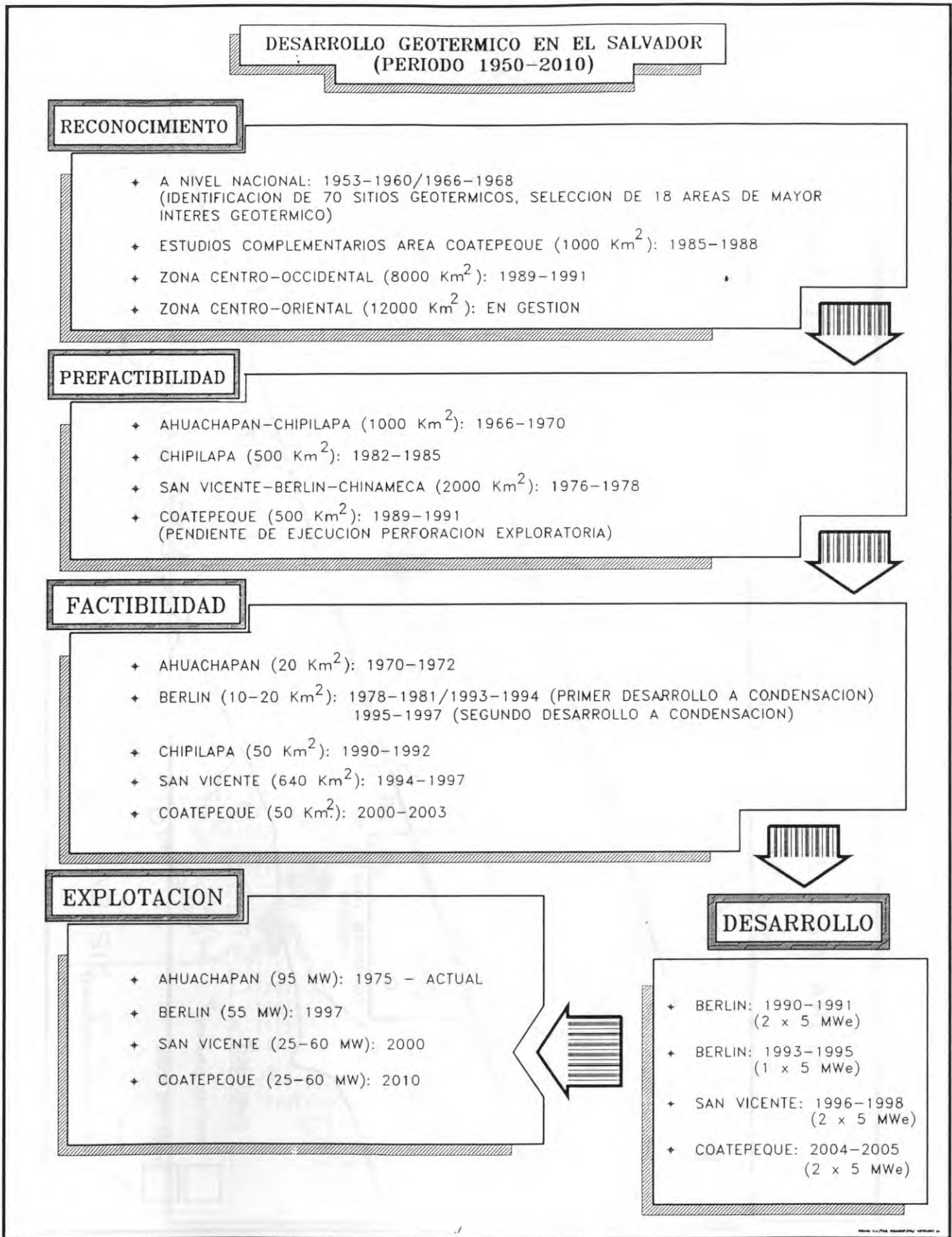


FIGURA No.5.2 RECURSOS GEOTERMICOS EN EL SALVADOR

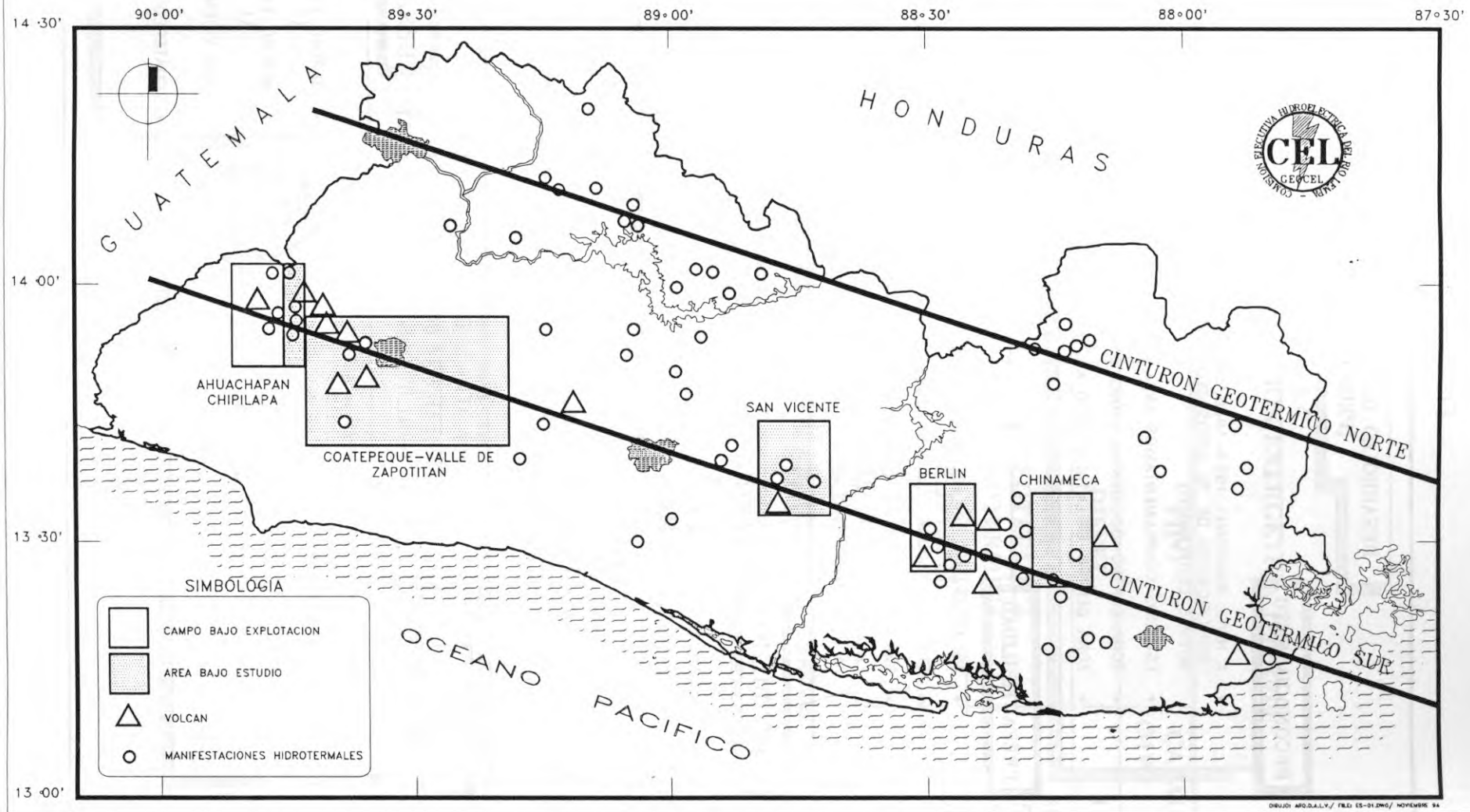
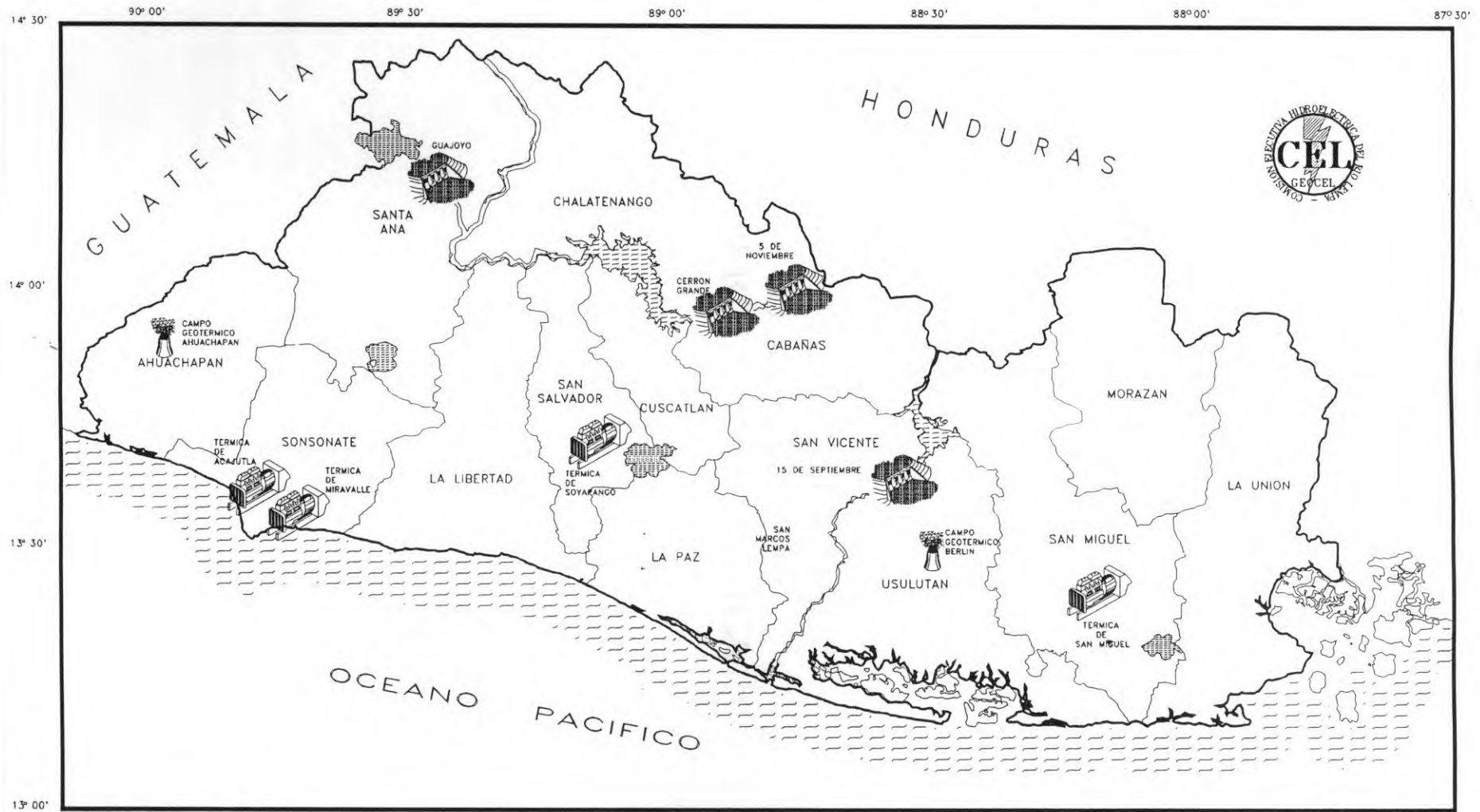


FIGURA No.53 SISTEMA DE GENERACION ELECTRICA EN EL SALVADOR



CAPITULO VI

MEDIDAS DE CONTROL DEL
IMPACTO AMBIENTAL
DE LA ENERGIA GEOTERMICA

MEDIDAS DE CONTROL DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGIA GEOTERMICA

El medio ambiente podría definirse como las condiciones físicas y fisiológicas que existen dentro de un área que podría ser afectada por la ejecución de un determinado proyecto, dentro de los cuales se incluye la tierra, el aire, el agua, los minerales, la flora y la fauna, el nivel de ruido y objeto de valor turístico y arqueológico.

Aunque los sistemas geotérmicos usados para la generación de electricidad son considerados fuentes muy limpias de energía, con relativamente pequeños impactos ambientales, existen, dentro de la ejecución de todo proyecto de esta naturaleza una serie de factores que pueden tener mayor o menor efecto sobre el ambiente local, principalmente aquellos que se refieren a la emisión de gases, desechos de salmueras, ruido y calor, problemas de dispersión de vapor, subsidencia, sismicidad inducida, cambios escénicos, uso de la tierra y derrames accidentales de fluidos de perforación.

El grado de impacto ecológico de un desarrollo y explotación de un recurso geotérmico depende principalmente de las características tanto del reservorio como del ambiente local, por lo que su evaluación y adopción de las medidas de mitigación varían con la etapa de ejecución, así como también del lugar donde se desarrolla el proyecto.

ESTIMACION DEL IMPACTO AMBIENTAL EN PROYECTOS GEOTERMICOS

Con el propósito de incluir dentro de la ejecución de los proyectos geotérmicos, la evaluación del impacto ambiental, fue diseñada una metodología que incluye el análisis matricial para la identificación, jerarquización y ponderación de los efectos potenciales que las actividades de un determinado proyecto puedan generar a efecto de adoptar las respectivas medidas de mitigación, tratamiento y/o control.

Esta metodología fue particularmente aplicada al proyecto denominado "Factibilidad del Campo Geotérmico de Chipilapa", dando como resultado que la principal causa que provoca un efecto adverso sobre el ambiente en esta etapa de la exploración esta relacionado con el desecho de fluidos durante la perforación y pruebas de pozos exploratorios, así como también en la ocupación y uso de la tierra para tal actividad y el ruido de las descargas de pozos.

Como producto de este resultado fueron adoptadas ciertas medidas tendientes a minimizar el impacto que las actividades del Proyecto pudieran ocasionar para lo cual, se adoptarán las siguientes acciones:

- a) Construcción e impermeabilización de tanques de lodos de perforación, así como también ductos de desagüe o canales conectados a quebradas de invierno de gran caudal, aledañas al lugar, sin usos agrícolas y/o domésticos, para evitar la descarga directa de fluidos residuales sobre el suelo.

- b) Utilización de equipos eficientes de separación de fluidos en superficie, para lo cual en las pruebas de pozos exploratorios se utiliza un separador-silenciador atmosférico portátil para minimizar el ruido durante las aperturas y separar adecuadamente las fases agua y vapor, a efecto de canalizar el agua separada hacia cuerpos diluyentes y el vapor verticalmente a la atmósfera.
- c) Canalización de aguas de desecho hacia tanques de sedimentación y luego hacia quebradas de invierno, con suficiente caudal para diluir el agua geotérmica, las cuales son previamente seleccionadas a través de un cuidadoso estudio hidrológico, para tomar en consideración su uso (doméstico y/o agrícola) y realizar en la medida de lo posible, la apertura en época lluviosa a efecto de minimizar la contaminación de los efluentes.
- d) Ubicación de las descargas a la mayor distancia de posibles áreas de cultivo y en dirección de los vientos dominantes del sitio, a efecto de que la mayor parte del flujo de vapor y agua residual sea captada en tanques de sedimentación.
- e) Análisis químico de los puntos de agua, aledaños a la zona, para evaluar los niveles de contaminantes presentes, por efecto de las descargas, con el propósito de definir el tiempo máximo de apertura de un pozo.
- f) Estudios Geoquímicos-Hidrológicos en la zona aledaña a los pozos por perforarse y posterior monitoreo durante y después de la perforación para una evaluación del impacto sobre los acuíferos de la zona.
- g) Adopción de la técnica de perforación direccional para minimizar el efecto sobre el uso de la tierra, (perforación de varios pozos sobre una misma plataforma).

Estas medidas han sido adoptadas para toda operación/actividad que implique la perforación y pruebas de pozos geotérmicos. Sin embargo, dada la naturaleza temporal de esta actividad y de igual forma, del impacto temporal que causa, una vez el desarrollo del recurso avanza hacia la etapa de explotación se presentan otros efectos potenciales un tanto más permanentes que requieren de la adopción de medidas también permanentes, tal es el caso del recurso bajo régimen de explotación comercial.

PLANTA · GEOTERMICA DE AHUACHAPAN: IMPACTOS AMBIENTALES Y MEDIDAS MITIGATORIAS.

Entre 1968 y 1975 fue realizada la etapa de desarrollo para el Campo Geotérmico de Ahuachapán, realizando el programa de perforaciones para completar los requerimientos de vapor para la Central.

Con la construcción de la Central Geotermoeléctrica se produjo una deforestación limitada en una área de únicamente 4 km², además de los inconvenientes que ocasiona el tránsito

de maquinaria y equipo pesado en una zona eminentemente agrícola.

A raíz de estos efectos negativos, fueron desarrollados programas de reforestación, y en la actualidad, el área de influencia del campo presenta una vegetación abundante, a tal grado que las tuberías de transporte de fluidos de los pozos hacia la central, se presentan casi ocultas en la vegetación existente.

Otro efecto negativo que se presentó al inicio de la construcción de la planta fue el ocasionado durante la perforación y pruebas de los pozos mediante descargas horizontales que provocó problemas de ruido y daños en los cultivos (preferentemente café y maíz) vecinos a la zona de perforación, así como también las descargas de fluidos geotérmicos a ríos y quebradas del área, todas afluentes del Río Paz, limítrofe con Guatemala, por lo cual hubo necesidad de indemnizar a los propietarios y posteriormente se adoptó la política de comprar los terrenos adyacentes con el propósito de evitar este tipo de problemas a la población, así como también se adoptaron medidas tendientes a mitigar el efecto de las descargas de los fluidos geotérmicos.

El problema más serio de Contaminación Ambiental y que incidía drásticamente en la optimización Técnico Económica de la Planta fue la disposición de los efluentes residuales, debido a la elevada concentración de elementos tales como el Boro y Arsénico.

En este sentido, dentro del Estudio de Factibilidad realizado en 1971 se recomendó y así fue adoptado, el uso de Sistemas de Conversión a Condensación debido a que, por ser de menor consumo de vapor, reducen el volumen de desechos líquidos, proponiéndose además, tres alternativas para la disposición de estas aguas residuales:

- a) Reinyección.
- b) Desecho al mar (conducción a través de 80 km. de canaleta de concreto).
- c) Desecho al Río Paz (almacenamiento temporal en laguna artificial y posterior descarga al río).

En vista que el proceso de reinyección, en esa fecha, era una técnica todavía bajo investigación y no se conocían mayores detalles de su factibilidad, fue seleccionada la alternativa de desechos de los efluentes al Río Paz, en vista de su menor costo y del menor impacto ambiental que implicaba su adopción. Sin embargo el análisis de Factibilidad Técnica de esta alternativa no incluyó el efecto del Arsénico, el cual representa el elemento de mayor toxicidad dentro del agua geotérmica de desecho, ni tampoco la utilización del Río Paz para el uso agrícola y doméstico del área, así como también que gran parte de la población utilizaba al Río como fuente de ingreso, producto de la pezca de camarón y otras variedades de peces.

En este sentido, fue posteriormente considerada la alternativa del Río Paz como una solución temporal, siempre y cuando el grado de dilución alcanzado permitiera mantener las concentraciones de Boro y Arsénico, principalmente, por debajo de los límites aceptados.

En vista de lo anterior, fue adoptada la solución del uso de la canaleta al mar, aún cuando su costo y el impacto ambiental por ocupación del suelo y por potenciales infiltraciones del agua geotérmica al subsuelo, eran mayores.

Sin embargo, debido a que la primera Unidad de 30 MW entró en servicio comercial en agosto de 1975 y a que la canaleta apenas iniciaba su construcción, se adoptó como solución temporal la combinación de reinyección parcial de los efluentes y la descarga al Río Paz.

Como producto de la reinyección no programada fueron observados cambios termodinámicos en las condiciones del reservorio tales como la declinación de la presión, y de las características de descarga y temperatura en algunos pozos, que obligó a suspender la reinyección del campo.

El programa de reinyección se reinició en 1989, con el propósito de implementar pruebas de radiotrazado como parte del Estudio de Optimización de la Explotación del Reservorio y prolongar la vida útil del campo.

Aunque la entrada en operación de la canaleta al mar, resolvió el problema de la disposición de desechos de la planta, su largo recorrido (Aproximadamente 82 Km) a través de zonas cultivadas y pobladas causa problemas derivados de los eventuales derrames provocados por daños en la canaleta, la cual requiere de un constante y costoso programa de control y mantenimiento, para evitar problemas de daños a personas y animales por quemaduras, con el agua de desecho, la cual se transporta a temperaturas entre los 60 y 70°C.

En este sentido el programa de desarrollo futuro del campo incluye la reinyección de fluidos como medio único de disposición de efluentes residuales.

Otro impacto negativo al ambiente generado por la explotación del recurso en el Campo Geotérmico de Ahuachapán se presenta con la emisión de Acido Sulfídrico (H_2S) hacia la atmósfera, para lo cual, la planta cuenta con torres de enfriamiento con chimeneas suficientemente altas para diluir y reducir su concentración a nivel del suelo.

El ruido ha sido otro de los impactos al ambiente que genera la producción de la planta, principalmente al interno de las mismas, por lo cual han sido adoptadas medidas de Seguridad Industrial (uso de orejeras, para los operadores, entre otros) para mitigar este problema.

Como consecuencia de la explotación comercial del Campo Geotérmico de Ahuachapán, también existe el potencial riesgo de erupciones hidrotermales, en aquellos sitios cercanos a cráteres o fumarolas, para lo cual se realizan programas de monitoreo que incluyan mediciones de flujo de calor y geoquímica en dichos sitios con el propósito de evaluar el comportamiento de las descargas superficiales y predecir cambios que pudieran provocar

este tipo de fenómenos.

Otros impactos que produjo la operación de las Plantas Geotermoeléctricas de Ahuachapán fue el uso de la tierra y la deforestación del área, los cuales han sido mitigados mediante programas de reforestación del campo.

PROGRAMAS VIGENTES PARA LA EVALUACION Y PLANES DE MITIGACION DEL IMPACTO AMBIENTAL EN PROYECTOS GEOTERMICOS.

Como parte integral de los Proyectos "Primer Desarrollo a Condensación del Campo Geotérmico de Berlín" y del "Programa Integral de Estabilización del Campo Geotérmico de Ahuachapán", se incluyen la ejecución de Estudios de Impacto ambiental, aplicando modelos numéricos-computacionales para definir a mediano y largo plazo, el comportamiento y las tendencias de las variables que puedan influir y/o modificar el ambiente de la zona bajo la influencia del Desarrollo Geotérmico y definir en base a los resultados, las medidas de mitigación, monitoreo y control de los impactos ambientales, directos e indirectos resultantes de la ejecución de los proyectos.

Especial énfasis tendrá el análisis de las descargas de los gases no condensables hacia la atmósfera y su concentración en los alrededores de las Plantas y Areas circunvecinas, propensas a los efectos y desalojo de aguas residuales al subsuelo. En igual forma dentro de los estudios programados, deberán establecerse los efectos sobre la actividad económica del área, salud ocupacional y humanitaria.

En este sentido dentro de la ejecución de los referidos Proyectos, se incluyen los Estudios de Impacto Ambiental que comprenden la ejecución de monitoreos que permitan definir y adoptar medidas preventivas y/o correctivas de cambios ambientales susceptibles de una explotación geotérmica, principalmente en lo referente a la microsismicidad, subsidencia, inestabilidad de taludes y efectos de las descargas de agua residuales y gases contaminantes en el área, para lo cual se están realizando las siguientes actividades:

- a. Estudio geotécnico para la evaluación de la estabilidad de taludes.
- b. Alteración Hidrotermal de los terrenos del campo y sus alrededores.
- c. Instalación y operación de una red sísmica, para el registro de movimientos del suelo y microsismicidad local.
- d. Establecimiento de una red microgravimétrica, para el monitoreo de los cambios de densidad y masa generada por la explotación geotérmica y su relación con posibles fenómenos de subsidencia.

- e. Estudios de Sísmica Pasiva, para delimitar las zonas de mayor actividad tectónica, con el propósito de seleccionar la mejor zona para la ubicación de Plantas a Condensación y Perforación de Pozos.
- f. Instalación de una red hidrometeorológica para el monitoreo de las características climáticas-ambientales del área.
- g. Estudios geoquímicos-Isotópicos en manifestaciones hidrotermales para evaluación del potencial de erupción de gases y contaminación de acuíferos.

Como parte integral del manejo y explotación de los campos geotérmicos de Berlín y Ahuachapán han sido adoptados una serie de medidas mitigatorias de las principales potenciales efectos ambientales, en el área de los proyectos, los cuales se describen a continuación:

- La implementación de la reinyección como única medida permanente de disposición de desechos.
- Modificaciones a la planta, principalmente en el funcionamiento de los eyectores y torres de enfriamiento, con el propósito de reducir la concentración del H₂S y demás gases incondensables.
- Utilización de la Técnica de Perforación direccional con el propósito de reducir el uso de la tierra, perforando de 3 a 4 pozos en una misma plataforma.
- Utilización de barreras sonoras para disminuir el ruido durante la perforación y pruebas de pozos.
- Impermeabilización de tanques para el desecho de fluidos durante la perforación de pozos geotérmicos.
- Continuar con los Programas de Reforestación con el propósito de proteger el recurso agua-suelo.

REFERENCIAS

Armstead, H.C., 1978:"Geothermal Energy", Eand F.N. Spon, New York.

Campos T., 1987:"The Geothermal Resources of El Salvador: Preliminary Assessment". United Nation Workshop on the Development and Exploitation of Geothermal Energy in Developing Countries, Pisa, Italia.

Campos R., A., 1991:" El Estado de la Geotermia en El Salvador, sus Aspectos Ambientales y Proyecciones Futuras", Taller sobre Evaluación del Impacto Ambiental, Riesgos Naturales y Reinyección en Areas Geotérmicas, Quito Ecuador..

CEL, 1993a:" Plan complementario del Sistema de Generación 1993-2010. Resumen Ejecutivo Planicel/SPDE/26/10/35/93, Gerencia de Planificación Estratégica. San Salvador. (Reporte Interno).

CEL, 1993b:" Desarrollo del Sistema Eléctrico CEL, 1993", Gerencia de Planificación Estratégica, Centro de Información Energética. San Salvador. (Reporte Interno).

CEL, 1993c:"Boletín de Estadísticas Eléctricas No.24", Gerencia Planificación Estratégica, Centro de Información Energética. San Salvador. (Reporte Interno).

Economides M.; Ungemach P., 1987:" Applied Geothermics", A Wiley-Interscience Publications, John Wiley and Sons, New York.

Hernández P., Salaverría A., 1990:"Metodología para la Estimación del Impacto Ambiental de Proyectos Geotérmicos". Seminario Internacional sobre las Perspectivas Geotérmicas en America Latina y el Caribe, El Salvador.

OLADE 1993a:" Guía para Estudios de Reconocimiento y Prefactibilidad Geotérmicos" OLADE-BID, Octubre, Quito, Ecuador.

OLADE 1993b:" Guía para la Operación y Mantenimiento de Campos y Plantas Geotérmicas", OLADE-BID, Octubre, Quito, Ecuador.

OLADE 1993c:" Guía para la Etapa de Desarrollo de un Proyecto Geotérmico", OLADE-BID, Octubre, Quito, Ecuador.

OLADE 1993d:" Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental de Explotaciones Geotérmicas con fines Energéticos", OLADE-BID, Abril, Quito Ecuador.

OLADE 1993e:" Guía para Estudios de Factibilidad Geotérmica", OLADE-BID, Octubre, Quito, Ecuador.

Ripperda M., G.S. Bodvarsson M.J., Lippmann, C., Goransson, P.A., Witherspoon, 1991:" The Ahuachapan Geothermal Field, El Salvador: Exploitation Model, Performance Predictions and Economic Analysis". Lawrence Berkeley Laboratory, University of California.

Salaverría A.,1990:"Preliminary Environmental Study of the Chipilapa Geothermal Field, El Salvador", Proc. 12th New Zealand Workshop.

XXV Curso latinoamericano de economía y
planificación energética/Aspectos generales de
los recursos geotérmicos y la experiencia de el
Salvador en su utilización/Alejandro Campos
Romero

333.88 C198v Ej. 1

CATALOGADO POR: HELP FILE LTDA

FECHA
RECIBO

PRESTADO A

FECHA

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA



01002979

BIBLIOTECA