

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL ORIGINADO POR
PROYECTOS GEOTERMoeLECTRICOS**

T E S I S

Presentada a la Junta Directiva de la

FACULTAD DE INGENIERIA

Por

**PROFESOR DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
JULIO CESAR PALMA CASTRO** Biblioteca Central

Al conferírsele el Título de

INGENIERO CIVIL

Guatemala, Enero de 1997.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR



Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL ORIGINADO POR
PROYECTOS GEOTERMoeLECTRICOS**

*Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de INGENIERIA CIVIL,
con fecha 09 de marzo de 1992*

JULIO CESAR PALMA CASTRO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

<i>DECANO</i>	<i>ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS</i>
<i>VOCAL 1o.</i>	<i>ING. MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA</i>
<i>VOCAL 2o.</i>	<i>ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLORZANO</i>
<i>VOCAL 3o.</i>	<i>ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRIA MENDEZ</i>
<i>VOCAL 4o.</i>	<i>Br. VICTOR RAFAEL LOBOS ALDANA</i>
<i>VOCAL 5o.</i>	<i>Br. WAGNER GUSTAVO LOPEZ CACERES</i>
<i>SECRETARIO</i>	<i>ING. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS</i>

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

<i>DECANO</i>	<i>ING. JORGE MARIO MORALES GONZALEZ</i>
<i>EXAMINADOR</i>	<i>ING. JUAN MIGUEL RUBIO ROMERO</i>
<i>EXAMINADOR</i>	<i>ING. ANIBAL RODAS MAZARIEGOS</i>
<i>EXAMINADOR</i>	<i>ING. MANUEL HERNANDEZ RODRIGUEZ</i>
<i>SECRETARIO</i>	<i>ING. EDGAR JOSE BRAVATTI CASTRO</i>

08
T(3984)
C.4

Guatemala, 31 de octubre de 1,996


Señor Ingeniero
Carlos Hermosilla
**DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE ENERGIA Y MINAS
-CESEM-**
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
PRESENTE.

Señor Ingeniero:

Cordialmente me dirijo a usted, para informarle que después de revisar el trabajo de tesis titulado **EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL ORIGINADO POR PROYECTOS GEOTERMoeLECTRICOS** elaborado por el estudiante Universitario JULIO CESAR PALMA CASTRO, considero que satisface los objetivos que motivaron la selección de dicho tema, por lo que por este medio hago de su conocimiento que apruebo el trabajo realizado.

El Asesor y el Autor de la presente tesis se hacen responsables del contenido, conclusiones y recomendaciones de la misma.

Atentamente,



Ing. Julio César Palma Ayala

ASESOR

Colegiado No. 2208

JCPA/mepp

Guatemala, 6 de noviembre de 1996.-

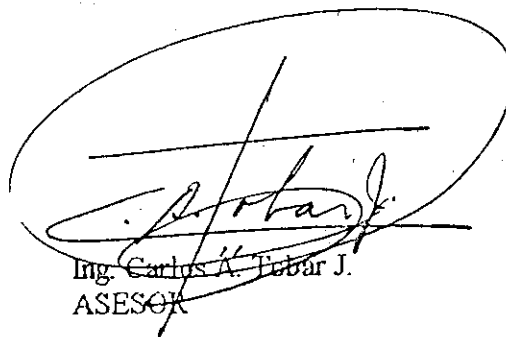
Ingeniero Carlos E. Hermosilla E.
Director del Centro de Estudios
Superiores de Energía y Minas
Facultad de Ingeniería, Universidad
de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Hermosilla:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he completado la asesoría del trabajo de tesis del estudiante universitario Julio César Palma Castro, la cual se titula **EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ORIGINADO POR PROYECTOS GEOTERMOELÉCTRICOS**. La tesis es un importante aporte para el desarrollo de la Ingeniería, dada la cantidad del recurso geotérmico con que cuenta nuestro país, así como la importancia de conocer el daño que puede provocar la generación de energía eléctrica a partir de esta fuente y las medidas de mitigación que pueden aplicarse para la conservación del medio ambiente.

Después de las correcciones planteadas al trabajo de investigación, considero que el mismo llena los requisitos exigidos, para poder continuar con los trámites correspondientes para su aprobación final.

Sin otro particular, me suscribo de usted atento y seguro servidor.



Ing. Carlos A. Tebar J.
ASESOR



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

CESEGA 265-96

Guatemala,

19 de noviembre de 1996

Ingeniero
Jack Douglas Ibarra
Director
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería,
Presente

Ingeniero Ibarra:

Por medio de la presente me permito informarle que he recibido, luego de finalizada y aprobada por los dos ingenieros asesores, el trabajo de tesis del estudiante Julio César Palma Castro, titulado "Evaluación del impacto ambiental originado por proyectos geotermoeléctricos".

Esta Dirección ha concluido la revisión del mencionado trabajo, el que satisface y llena las expectativas planteadas en el protocolo, por lo que recomiendo continuar con el trámite correspondiente para su impresión y publicación.

Atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos E. Hemsilla E.

~~Director~~
Centro de Estudios Superiores de
Energía, Geología y Ambiente

cc: archivo
CEHE/id.





FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de los asesores: Ing. Julio Cesar Palma Ayala e Ing. Carlos A. Tobar J. Así como del Director del Centro de Estudios Superiores de Energía, Geología y Ambiente, Ing. Carlos E. Hermosilla E. Del trabajo de tesis del estudiante Julio Cesar Palma Castro, titulado "EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL ORIGINADO POR PROYECTOS GEOTERMoeLECTRICOS" , da por este medio su aprobación a dicha tesis.


Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, enero de 1,997.

JDIS/isa.



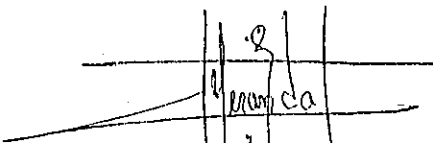
FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

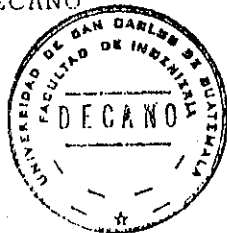
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL ORIGINADO POR PROYECTOS GEOTERMoeLECTRICOS, del estudiante Julio Cesar Palma Castro, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios

DECANO



Guatemala, enero de 1,997

AGRADECIMIENTO A:

DIOS:

Quien me permitió culminar esta meta

MI PADRE:

Por su apoyo y ayuda constante en mi vida, por su ejemplo de honradez y honestidad y por la permanente presión para lograr terminar este trabajo con su valiosa asesoría.

MI MADRE:

Por el cariño, comprensión y ayuda que siempre me ha brindado.

MI ESPOSA:

Por el cariño y apoyo que me ha dado para culminar este trabajo.

MIS HIJOS:

Por ser el motor que mueve mi vida y una fuerte inspiración a superarme y seguir adelante.

MIS SUEGROS:

Por la ayuda, apoyo y cariño que en todo momento me han brindado de una manera incondicional.

ING. CARLOS TOBAR:

Por su valiosa Asesoría.

MI FAMILIA Y AMIGOS:

Que de una u otra forma me brindaron su ayuda

ELIZABETH DE CUEVAS:

Por su apoyo espontáneo y desinteresado en el presente trabajo.

TESIS QUE DEDICO A:

- MIS PADRES:** *Ing. Julio César Palma Ayala
Ana Haydeé Castro de Palma*
- MI ESPOSA:** *María Luisa Córdova de Palma*
- MIS HIJOS:** *Julio Andrés y Juan Pablo*
- MIS HERMANOS:** *Ana Patricia, Juan Carlos, Carmen María*
- MIS SUEGROS:** *Ramón Dávila Barillas
Virginia Alejos de Dávila
Carmen Dávila Alejos*
- MI ABUELITA:** *Carmen Moreno de Castro*
- MIS CUÑADOS:** *Jorge Luis, María Aimeé, Carmen Lucía, Tere*
- MIS AMIGOS:** *Estuardo Balz
Sender García
Carlos Mendoza
Geovany Lau
Rafael Solares
Leonel Retolaza*
- TODA MI FAMILIA:**
- MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS
EN GENERAL**
- TODAS LAS PERSONAS QUE
COLABORARON EN MI FORMACION
INTELECTUAL Y PROFESIONAL**

INDICE

	PAGINA
LISTADO DE ILUSTRACIONES	i
GLOSARIO	ii
INTRODUCCION	vii
OBJETIVOS	viii
1. ENERGIA GEOTERMICA	1
1.1 QUE ES ENERGIA GEOTERMICA	1
1.2 CONDICIONES PARA QUE EXISTA UN CAMPO GEOTERMICO	4
1.3 DEFINICION DEL TIPO DE YACIMIENTOS GEOTERMICOS DE ACUERDO A SU TEMPERATURA Y COMPOSICION QUIMICA	6
1.4 FORMA DE EXPLOTAR UN YACIMIENTO GEOTERMICO CONFORME A SUS CARACTERISTICAS	7
2. BREVE DESCRIPCION DE LOS ESTUDIOS QUE SE EFECTUAN PARA LLEVAR UN CAMPO GEOTERMICO A SU FASE DE EXPLOTACION PARA UN PROYECTO DE GENERACION ELECTRICA	13
2.1 ESTUDIOS PRELIMINARES	13
2.2 ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD	16
2.3 ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD	19
2.4 DESARROLLO DEL CAMPO	22
2.4.1 UBICACION DE POZOS DE PRODUCCION Y REINYECCION	22
2.4.2 PERFORACION Y TERMINACION DE POZOS	23
2.4.3 INSTALACIONES SUPERFICIALES EN PLATAFORMA	24
2.4.4 DESARROLLO Y EVALUACION DE POZOS	25
2.4.5 SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS GEOTERMICOS	26
2.4.6 PROYECTO DE CENTRALES GEOTERMICAS	26
2.4.7 CONSTRUCCION DE CENTRALES GEOTERMoeLECTRICAS	29
2.4.8 PLANTAS A BOCA DE POZO	30
2.4.9 EVALUACION DE FLUIDOS Y CONTROL AMBIENTAL	32
2.5 EXPLOTACION DEL CAMPO	32
2.5.1 OPERACION DE CAMPO Y CENTRAL	33
2.5.2 MANTENIMIENTO DE POZOS Y CAMPO	35
2.5.3 CRITERIOS BASICOS PARA ANALISIS, EVALUACION Y PRONOSTICO DEL COMPORTAMIENTO DE RESERVORIOS	36
2.5.4 POLITICAS DE EXPLOTACION	37
2.5.5 CRITERIOS BASICOS PARA EL ANALISIS DE COSTOS DE INVERSION Y DE GENERACION	39

3.	INFORMACION REQUERIDA PARA EVALUAR SI UN PROYECTO GEOTERMoeLECTRICO PRESENTA SITUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL ADVERSAS PARA SU EJECUCION	39
3.1	DATOS GENERALES	39
3.2	ACTIVIDADES DEL PROYECTO	40
	3.2.1 LOCALIZACION Y PREPARACION DEL SITIO	40
	3.2.2 CONSTRUCCION	40
	3.2.3 OPERACION Y MANTENIMIENTO	42
	3.2.4 ACTIVIDADES FUTURAS Y RELACIONADAS	45
4.	FACTORES Y ATRIBUTOS AMBIENTALES	50
4.1	EFFECTOS FISICO-QUIMICOS	52
	4.1.1 AGUA SUPERFICIAL	52
	4.1.2 AGUA SUBTERRANEA	53
	4.1.3 AGUA MARINA	54
	4.1.4 AMBIENTE SONORO	55
	4.1.5 SUELO	56
	4.1.6 AIRE	58
4.2	EFFECTOS ECOLOGICOS	58
	4.2.1 ESPECIES Y POBLACIONES TERRESTRES	59
	4.2.2 ESPECIES Y POBLACIONES ACUATICAS	59
	4.2.3 HABITATS Y COMUNIDADES TERRESTRES	60
	4.2.4 HABITATS Y COMUNIDADES ACUATICAS	60
4.3	EFFECTOS ESTETICOS	61
4.4	EFFECTOS SOCIOECONOMICOS	62
5.	PROCEDIMIENTO DE EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL PARA UN PROYECTO GEOETERMOELECTRICO	64
5.1	PROYECTO IDENTIFICADO	64
5.2	ELEGIBILIDAD DEL PROYECTO	64
5.3	PROYECTO FACTIBLE	65
5.4	PROYECTO EN EJECUCION	65
6.	EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL EN PROYECTOS GEOTERMoeLECTRICOS EN OPERACION	66
6.1	CONSIDERACIONES GENERALES	69
6.2	DESCRIPCION DEL ESCENARIO AMBIENTAL ANTES DE LA REALIZACION DEL PROYECTO	69
6.3	DETERMINACION DE LAS TECNICAS PARA ANALISIS DE IMPACTOS	73
6.4	MEDIDAS DE ATENUACION E IMPACTOS RESIDUALES	74
6.5	VALUACION ECONOMICA	75
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	ix
	BIBLIOGRAFIA	xi

LISTADO DE ILUSTRACIONES

FIGURA		PAGINA
1.1	CIRCULO DE FUEGO O CINTURON CIRCUM-PACIFICO	3
1.2	ESQUEMA DE UN CAMPO GEOTERMICO	5
1.3	CENTRAL DE GENERACION DE EVAPORIZACION INSTANTANEA EN FASE UNICA	9
1.4	GENERACION ELECTRICA POR MEDIO DE VAPOR GEOTERMICO	10
1.5	CENTRAL DE GENERACION DE CICLO BINARIO	11
2.1	ETAPAS EN LA EJECUCION DE UN PROYECTO GEOTERMICO	14
2.2	CICLO DE UN DESARROLLO GEOTERMICO	21
4.1	MATRIZ DE CRIBADO AMBIENTAL EN PROYECTOS GEOTERMoeLECTRICOS	51
6.1	DIAGRAMACION DEL PROCESO DE EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL	67

GLOSARIO

ABIOTICO: Sin vida.

ANATEXIA: Proceso de regeneración de magma mediante la fusión de rocas preexistentes.

AMBIENTE: El complejo total de factores físicos, químicos, biológicos, sociales, culturales, económicos y estéticos, los cuales afectan a los individuos y a las comunidades, y en última instancia determinan su forma, su carácter, sus relaciones y supervivencia.

APROVECHAMIENTO: Es el uso o explotación racional y sostenida de recursos y bienes naturales.

AREA DE INFLUENCIA: Es el área donde se presentarán y/o tendrán influencia los impactos adversos o benéficos de un proyecto. Un mismo proyecto puede tener diferentes áreas de influencia, dependiendo de los factores ambientales que vayan a ser afectados.

AREA DEL PROYECTO: Es la superficie que ocuparán físicamente las obras, instalaciones, servicios, infraestructura, terrenos, etc, de un proyecto.

ATRIBUTOS AMBIENTALES: Son las características específicas del ambiente que definen la calidad, integridad y comportamiento de un área dada.

BIOTICO: Viviente, organismos vivos que conforman las partes bióticas de los ecosistemas.

CALIDAD DEL SUELO: Se refiere a la textura, color, permeabilidad, Ph, contenido orgánico y contenido inorgánico del suelo.

CLIMA: Es el conjunto de caracteres atmosféricos que distinguen a una región.

COMUNIDAD: Son todas las poblaciones que habitan un área determinada.

CONTAMINANTE: Es toda materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, los derivados químicos o biológicos, así como toda forma térmica, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido que al incorporarse o actuar con la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental, alteren o modifiquen su composición o afecten la salud humana.

CORTEZA DE LA TIERRA: La parte de la tierra situada por encima de la discontinuidad de Mohorovicic, está dividida en dos partes, una inferior continua el SIMA (Silíce y magnesio) y una superior discontinua el SIAL (Silíce y Aluminio) que está confinada a las masas continentales.

DIFERENCIACION MAGMATICA: Proceso que produce la separación de un magma en dos o más partes de composición diferente, es una clase de diferenciación magmática.

DURABILIDAD: Es el período de tiempo en el que el impacto ambiental puede extenderse y los efectos acumulativos que se presentan por el entrecruzamiento de impactos en ese tiempo.

ECOLOGIA: Es el estudio de las relaciones entre los organismos o grupos de organismos con su medio determinado.

ECOSISTEMA: Comunidad de diferentes especies que interactúan entre sí y con los factores físicos y químicos que conforman su entorno no vivo.

EFFECTO SIGNIFICATIVO AL AMBIENTE: Es el relativo a una acción en la cual el total de consecuencias primarias y secundarias acumuladas, alteran significativamente la calidad del medio humano, reduce las oportunidades de un uso benéfico del mismo, o interfiere en la consecución de objetivos ambientales de largo plazo.

EROSION: Es el proceso o procesos a través de los cuales los materiales, terrenos, suelos o consolidado se disuelven, disgregan y desgastan pasando de un lugar a otro por la acción del agua, aire o hielo.

ESTRUCTURA GEOLOGICA: Término utilizado para describir la relación total de una masa de roca; p.ej.: plegamiento, formación *fuerza *distorsión y otros.

FALLA: Rotura a lo largo de la cual se puede observar un desplazamiento a lo largo de un plano de falla.

FRECUENCIA: Es la forma en que se manifiesta un impacto, si es a corto o largo plazo, o si el impacto es intermitente.

HABITAT: Lugar o tipo de lugar en donde vive un organismo o una población de organismos.

IMPACTO A CORTO PLAZO: Es aquel cuyos efectos significativos ocurren en lapsos relativamente breves.

IMPACTO A LARGO PLAZO: Es aquel cuyos efectos significativos ocurren en lapsos distantes del inicio de la acción.

IMPACTO ACUMULATIVO: Es aquel en que sus efectos vienen a sumarse directa o sinérgicamente a condiciones ya presentes en el ambiente o a otros impactos.

IMPACTO AMBIENTAL: Cualquier alteración de las condiciones ambientales o creación de un nuevo conjunto de condiciones ambientales, adverso o benéfico, causadas o inducidas por la acción o conjunto de acciones consideradas.

IMPACTO DIRECTO: Es la alteración que sufre un elemento del ambiente en algunos de sus atributos por la acción directa del hombre o la naturaleza.

IMPACTO INDIRECTO O INDUCIDO: Son los efectos que se derivan de los impactos primarios, o de la interacción de todas aquellas que integran un proyecto.

IMPACTO IRREVERSIBLE: Es aquel que por la naturaleza de la alteración no permitirá que las condiciones originales se restablezcan.

IMPACTO RESIDUAL: Es aquel cuyos efectos persistirán en el ambiente, por lo que requieren de la aplicación de medidas de atenuación que consideren el uso de la mejor tecnología disponible.

IMPACTO REVERSIBLE: Es aquel cuyos efectos sobre el ambiente pueden ser mitigados de forma tal, que se restablezcan las condiciones preexistentes a la realización de la acción.

IMPORTANCIA: Es el valor que puede darse a un área ambiental específica en su estado actual.

INTRUSION: Cuerpo de roca ígnea que se ha introducido por sí mismo en rocas preexistentes, bien a lo largo de formas estructurales concretas, p.ej: planos de estratificación, fracturas o disclasas o bien por deformación y corte transversal de las rocas invadidas, lacolitos, lipolito, fasolito y otras.

LITOLOGIA: Término aplicado generalmente a rocas, refiriéndose a sus características generales.

MAGNITUD: Se define como la probable severidad de cada impacto potencial, está también relacionada con la reversibilidad del impacto.

MATRIZ DE CRIBADO AMBIENTAL: Es aquella que como columnas contiene a las actividades del proyecto y como filas a los factores y atributos ambientales, y sirve para identificar los posibles impactos que el proyecto va a producir.

MEDIDA DE MITIGACION: Es la implementación o aplicación de cualquier política, estrategia, acción, equipo, sistema, etc, tendiente a minimizar en lo posible los impactos adversos que se pueden presentar durante la construcción y operación de una obra.

MONITOREO AMBIENTAL. Es la determinación sistemática de la calidad de los parámetros que integran el ambiente.

ORGANISMO: Cualquier forma de vida.

PARAMETROS DEL AMBIENTE. Son variables que representan características particulares de los atributos ambientales.

PETROGRAFIA: La descripción sistemática de las rocas en forma de muestra de mano y en sección delgada.

POBLACION. Es el grupo de individuos de cualquier clase.

PREVENCION. Es la disposición anticipada de medidas para evitar daños al ambiente.

POLUCION: Expresión en inglés para la contaminación del medio ambiente por sustancias nocivas. Acumulación en la biosfera de sustancias químicas indeseables, desprendidas hacia la atmósfera, en los ecosistemas y vertidos en el agua, también se aplica a las perturbaciones térmicas, acústicas y visuales.

RUIDO. Es un sonido indeseable o un sonido en el lugar equivocado y en el tiempo equivocado.

RIESGO. Es la probabilidad de que ocurra un impacto ambiental.

SISMICIDAD. Es la susceptibilidad de una zona a fenómenos sísmicos.

SISTEMA. Elementos de interacción e interdependencia regulares que forman un todo unificado.

SUBSIDENCIA. Lento y gradual descenso de un fondo.

TECNICAS DE ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL. Son los mecanismos técnicos que conducen a la evaluación directa o indirecta de los impactos que se derivan de la interacción del proyecto en sus distintas fases con los factores y atributos ambientales que definen la calidad del sitio de ubicación y el entorno.

TECTONICA. El estudio de los principales caracteres estructurales de la corteza terrestre o de la estructura global de una región.

VOLCANISMO O VULCANISMO. Conjunto de fenómenos relacionados con el ascenso de masas rocosas en fusión hacia la superficie terrestre, su desparramiento, y su enfriamiento y consolidación hasta originar las rocas volcánicas.

VULCANOLOGIA: Estudio de los volcanes asociado a rocas ígneas.

XENOLITO: Inclusión de una roca preexistente en roca ígnea. El fragmento puede proceder de la roca encajante, o puede ser un fragmento de roca ígnea que se ha solidificado tempranamente, teniendo así una composición ligeramente distinta.

INTRODUCCION

La fuga de divisas debido a la importación de hidrocarburos y sus derivados para producir energía que tienen en particular los países no productores o productores en pequeña escala de los mismos, ha motivado que la tecnología para desarrollar nuevas fuentes alternas y renovables de energía haya avanzado a pasos agigantados con el objetivo de sustituir a los hidrocarburos o por lo menos reducir su consumo, tal es el caso de la energía geotérmica, eólica, solar, biomasa, etc.

La Geotermia a nivel mundial es considerada una fuente de energía limpia, sin embargo, ciertos impactos ambientales en la ejecución de proyectos geotérmicos han motivado la necesidad de tomar medidas desde el inicio de las investigaciones, en el sentido de evaluar y prevenir los efectos favorables o adversos sobre el ambiente, parte de esas actividades se llevan a cabo a través de proyectos en desarrollo, de los cuales es posible prever los efectos que ocasionará su implementación mediante estudios de impacto ambiental.

Los impactos ambientales asociados con la exploración, desarrollo y explotación para generar electricidad a base de energía geotérmica incluyen la contaminación del aire, la tierra y el agua, el ruido, los impactos visuales, la generación de desechos, la subsidencia y la sismicidad, estos impactos adquieren más importancia a medida que las actividades geotérmicas avanzan desde la fase de exploración hasta las fases de desarrollo y producción. Durante la fase de exploración casi ninguno o muy pocos de estos impactos ambientales merecen atención, lo cual dependerá de los detalles específicos de cada proyecto, sin embargo la mayoría de ellos eventualmente salen a la luz cuando un proyecto alcanza el éxito.

Un estudio de impacto ambiental consiste en una serie de pasos ordenados, con los cuales se genera y procesa sistemática y ordenadamente gran cantidad de información. Las evaluaciones de impacto ambiental constituyen en la actualidad una de las herramientas más efectivas para integrar las consideraciones ambientales en los proyectos de desarrollo.

La evaluación del impacto ambiental de explotaciones geotérmicas busca suministrar los instrumentos esenciales para integrar la dimensión ambiental en los procesos de estudio, planificación, diseño, construcción y operación de proyectos energéticos. Con una guía para la evaluación del impacto ambiental se pretende ayudar a resolver los problemas de suministro de energía con el mínimo daño posible a los ecosistemas naturales y a las actividades socioeconómico-culturales propias de la región en que se desarrollen los proyectos.

OBJETIVOS

Los principales objetivos que se persiguen con el presente trabajo de tesis, son los siguientes:

- *Conocer las posibles interacciones que se podrían presentar entre los factores ambientales (del medio natural y socioeconómico) y las acciones inherentes de cada proyecto previas a su implementación.*
- *Determinar el área de influencia ambiental de acuerdo con las características del proyecto.*
- *Identificar y evaluar los impactos que el proyecto podría ocasionar sobre los diferentes factores ambientales, incluyendo políticas y/o estrategias para mantener los impactos benéficos que se obtendrán al evaluar el valor o importancia del recurso natural, así como, describir los efectos negativos que le perjudicarán, los efectos directos o indirectos y los efectos a corto y largo plazo.*
- *Analizar las diferentes alternativas del proyecto para elegir la que represente menor riesgo ambiental.*
- *Determinar con una mayor profundidad los impactos ambientales significativos detectados en el cribado ambiental y diseñar medidas de atenuación para minimizar aquellos impactos adversos que no se pueden evitar.*

1. ENERGIA GEOTERMICA

1.1 QUE ES ENERGIA GEOTERMICA

La geotermia se define por su etimología, término compuesto de las palabras griegas geos = tierra y termos = calor, calor de la tierra.

La energía existente en el interior de la tierra en forma de calor se denomina "Energía Geotérmica".

Al evaluar globalmente esta energía calorífica, resultan cifras tan increíbles que las reservas de las energías llamadas "convencionales" resultan ridículas.

Con el transcurrir de los años, el hombre se ha visto obligado a excavar galerías y pozos en busca de minerales y otros recursos, percatándose que conforme iba descendiendo del nivel de la superficie terrestre la temperatura aumentaba.

Se llama grado geotérmico al número de metros que hay que descender para que la temperatura se incremente un grado centígrado.

Se llama gradiente geotérmico al número de grados centígrados que aumenta la temperatura al descender cien metros.

Estos incrementos de temperatura en relación a la profundidad no son constantes, éstos varían debido a factores de tipo local tales como:

- *Conductibilidad térmica de las rocas.*
- *Reacciones químicas internas.*
- *Proximidad de las masas magmáticas (rocas en estado de fusión), como fuentes de calor.*
- *Concentración de elementos radioactivos.*

Como promedio se ha observado que regularmente en un medio normal, la temperatura de la tierra aumenta en un grado centígrado (1° C) por cada 33 metros de profundidad, tomándose esta profundidad como promedio para definir el grado geotérmico, siendo el gradiente de acuerdo a la definición dada con anterioridad de 3° C por cada 100 metros. El gradiente de temperatura disminuye hacia el interior de la tierra con el aumento de la presión litostática.

Las regiones de la tierra más aptas para el aprovechamiento del calor geotérmico son las que forman parte de los cinturones sísmicos y volcánicos. Estos cinturones forman "áreas inestables" que bordean viejos macizos continentales en partes que han sido sometidos a deformaciones por distensión y compresión en épocas recientes, estos macizos forman las "placas". Bordeando las placas se hallan hileras de volcanes con variada actividad que los cataloga como volcanes activos, dormidos y extinguidos (Fig. 1.1).

Los focos magmáticos se manifiestan al exterior por la existencia de volcanes, aguas termales, vapores o gases. Existen también muchos focos magmáticos que, no obstante hallarse relativamente cercanos a la superficie terrestre no presentan este tipo de manifestaciones, pero sí incrementos notables en el gradiente geotérmico de la zona, debido al flujo calórico que éstos originan.

Entre los diferentes tipos de focos magmáticos conocidos y explotados se tienen los siguientes:

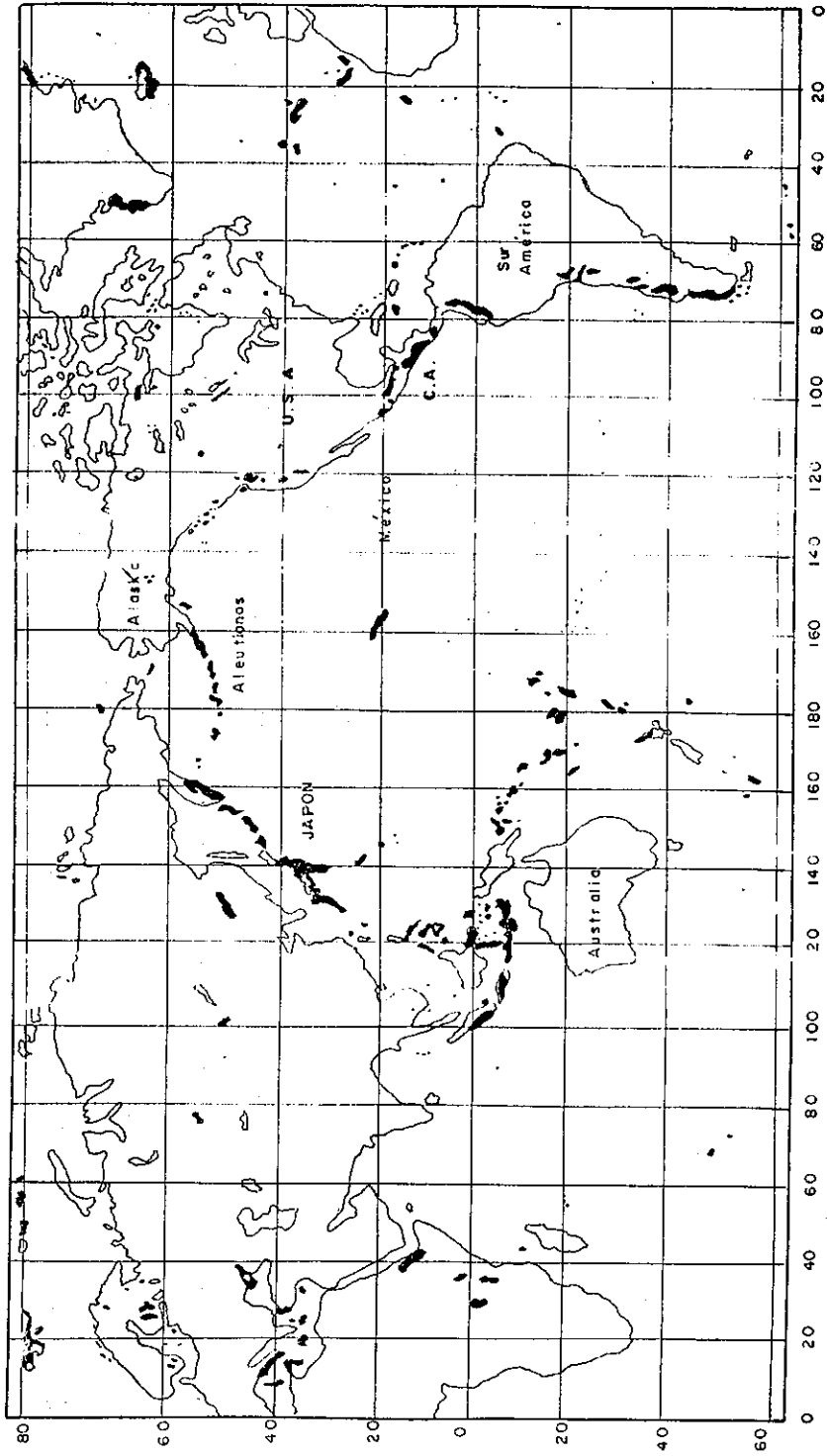
- 1. Campos relacionados con el vulcanismo activo, en donde el fluido geotérmico tiene origen magmático.*
- 2. Campos relacionados a un centro volcánico en quietud o aparente quietud en el cual el fluido geotérmico lo constituyen aguas meteóricas infiltradas.*
- 3. Campos ligados a intrusiones magmáticas en donde los fluidos se deben a infiltraciones de aguas meteóricas.*

La energía calorífica encerrada en estos focos magmáticos se aprovecha principalmente para la generación eléctrica, calefacción, refrigeración y otros, y es uno de los motivos por los cuales científicos y técnicos se interesan por explorar esta clase de recurso en todo el mundo.

La energía geotérmica es un recurso natural común como la energía hidráulica, carbón o petróleo; y no está limitada a las áreas volcánicas, muchas cuencas sedimentarias ofrecen recursos geotermales comerciales.

La utilización de las aguas calientes con temperaturas sobre cincuenta grados centígrados son competitivas con los combustibles fósiles en espacios condicionados y también en otros campos tales como la agricultura, en donde se utiliza en invernaderos y la congelación de alimentos, también es competitiva en el campo de la minería.

La energía geotermal podría cambiar, la economía de las áreas circumpolares (Siberia, Norte del Canada, Alaska), ya que el agua caliente bajo y cerca del punto de ebullición puede generar energía a costos competitivos.



CIRCULO DE FUEGO O CINTURON CIRCUMPACIFICO

Fig. 1.1

1.2 CONDICIONES PARA QUE EXISTA UN CAMPO GEOTERMICO

La distribución de la energía geotérmica dentro de la corteza terrestre es bastante irregular y por lo tanto solamente una pequeña parte de ésta puede considerarse como un recurso potencialmente explotable. Esta parte explotable del calor endógeno suele llamarse energía hidrogeotérmica, ya que es el agua subterránea, líquida o en forma de vapor, la que al calentarse a cierta profundidad, asciende y transporta el calor.

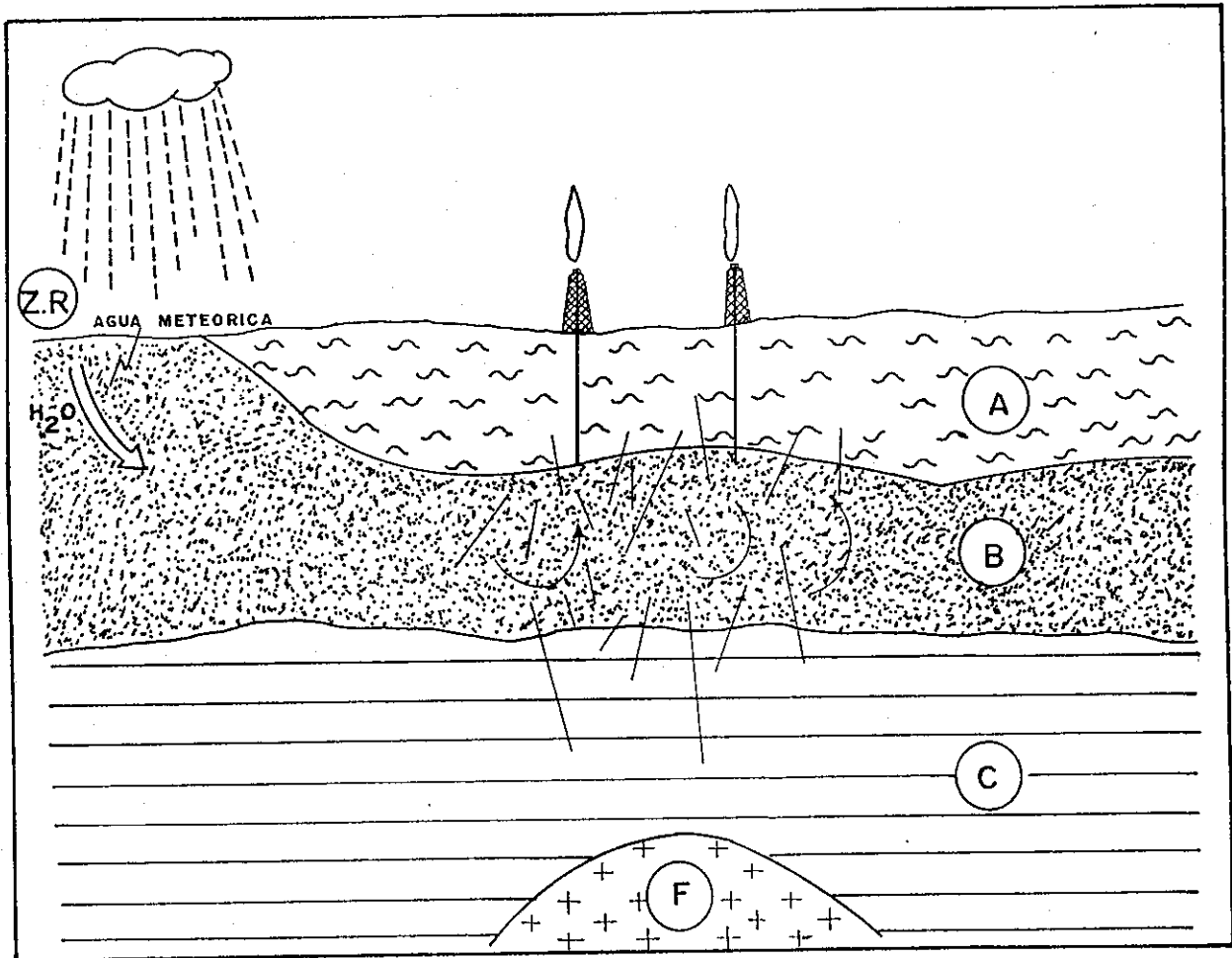
Las posibilidades del aprovechamiento de la energía geotérmica quedan limitadas a ciertas zonas de la corteza terrestre en donde se encuentran localizados los campos geotérmicos donde se dan factores de temperatura, presión, permeabilidad de las rocas, profundidad, etc. constituyendo un reservorio hidrogeotérmico (Fig. 1.2).

Un modelo de reservorio geotermal debe reunir, para una utilización comercial los siguientes standards:

- *Una alta temperatura (180 grados centígrados o más).*
- *Una relativa poca profundidad (3,000 m o menos).*
- *Un acuífero calentado directamente por un foco de calor.*
- *Suficiente permeabilidad para permitir la circulación de agua o vapor continuamente a una tasa alta.*
- *Conviene que el reservorio tenga un sello o capa impermeable sobre su techo que le sirva de aislante, impidiendo la disipación de calor al exterior.*
- *Un área de recarga de agua meteórica (agua de lluvia), para que sea un recurso renovable.*
- *Relativamente pocos sólidos disueltos (salmuera) y fluidos no corrosivos.*
- *El techo del reservorio debe ser accesible por medio de perforaciones de pozos mecánicos.*

Se llama reservorio o yacimiento geotérmico a la roca permeable por la que circulan los fluidos (agua, vapor o ambos), esta capa se encuentra en contacto con el foco de calor, el cual puede estar formado por intrusiones magmáticas recientes que pueden provenir del manto o pueden ser concentraciones del calor radioactivo, formando focos magmáticos dentro de la corteza terrestre.

ESQUEMA DE UN CAMPO GEOTERMICO



NOTA.

- A. ROCA SELLO IMPERMEABLE.
 - B. ROCA RESERVORIO CON ALTA PERMEABILIDAD.
 - C. CAPAS BASALES, POCO PERMEABLES.
 - F. FUENTES DE CALOR (intrusión magmática).
- Z.R. ZONA DE RECARGA DEL OCUIFERO.

Fig. 1.2

El ascenso de fluidos de un reservorio a la superficie puede ser espontáneo a través de fallas o fracturas que forman manantiales calientes, fumarolas, etc. o directamente por medio de perforaciones que intersecten el reservorio geotérmico.

La localización de un campo geotérmico tiene semejanza con la localización de un campo petrolífero, para ello es necesario hacer estudios geocientíficos a nivel de prefactibilidad y factibilidad, tales como estudios geoquímicos, geológicos, geovulcanológicos, geofísicos, hidrogeológicos, perforación de pozos y evaluación del recurso hidrogeotérmico.

1.3 DEFINICION DEL TIPO DE YACIMIENTOS GEOTERMICOS DE ACUERDO A SU TEMPERATURA Y COMPOSICION QUIMICA

Conforme a la temperatura que en ellos se mida se clasifican en:

- *Sistemas o yacimientos geotérmicos de alta temperatura, en donde la temperatura es superior a los 240 grados centígrados, predominando en los fluidos la fase de vapor.*
- *Sistemas geotérmicos de media a alta temperatura, con temperaturas superiores a los 150 grados centígrados en donde predomina la fase líquida.*
- *Sistemas geotérmicos de media a baja temperatura con temperaturas entre los 40 y 150 grados centígrados, con predominio de agua caliente.*

De los anteriores yacimientos hay ejemplos de explotación en varios países del mundo, existiendo también dos tipos de yacimientos en fase de investigación, que aún no han sido explotados convencionalmente. Estos son los yacimientos de alta presión o geopresurizados y los sistemas de rocas secas calientes.

La rentabilidad de un yacimiento geotérmico depende de varios factores, entre ellos la temperatura, siendo más rentables los de mayor temperatura.

Las manifestaciones de fluidos geotérmicos, ya sea en forma líquida o vapor, proporciona a la geoquímica medios efectivos de reconocimiento de las temperaturas a las que se encuentra bajo la superficie un yacimiento geotérmico, este cálculo suele realizarse mediante la utilización de termómetros geoquímicos o geotermómetros.

El uso de estos geotermómetros se basa en que, teóricamente la composición del agua al salir del almacén geotérmico está en función directa de su temperatura, y es necesario aceptar una serie de condiciones que difícilmente se cumplen en la mayoría de casos, estas condiciones son:

- *Las reacciones entre el agua y la roca están en función de la temperatura.*
- *Los elementos reaccionantes deben estar presentes en exceso, no pudiendo haber limitación cuantitativa.*
- *Se tiene que alcanzar un equilibrio entre el agua y la litofacies considerada a la temperatura interna que se pretende investigar, es decir, que el tiempo de reacción entre el agua y la roca debe ser el suficiente para que se produzca el equilibrio termodinámico a la temperatura del reservorio.*
- *Los cambios en la composición química de las aguas en su salida hacia la superficie deben ser mínimos.*
- *No se debe mezclar el agua geotermal con otras aguas superficiales o de infiltraciones recientes.*

Estas condiciones son difíciles de comprobar o de darse en la práctica, por lo que los métodos de cálculo geotermométrico deben utilizarse con cuidado, comparando los resultados con otros métodos o con otras técnicas geotermométricas.

La proporción de sílice en disolución y las relaciones iónicas de sodio y de potasio, son buenos indicadores que ayudan a determinar la temperatura del reservorio.

Los métodos de cálculo geotermométricos propuestos y ensayados son:

- *Concentración en aguas termales de las distintas familias minerales de la sílice (cuarzo, cristobalita, calcedonia, sílice amorfa, etc).*
- *Equilibrio Na/K, para yacimientos de alta temperatura.*
- *Equilibrio Na-K-Ca, para aguas ricas en calcio.*
- *Equilibrio albita-anortita, cuando la roca almacén es rica en plagioclasas.*
- *Geotermómetros isotópicos.*

1.4 FORMA DE EXPLOTAR UN YACIMIENTO GEOTERMICO CONFORME A SUS CARACTERISTICAS

Los fluidos de los yacimientos geotérmicos clasificados como de alta temperatura (mayor de 240 grados centígrados) con predominio de fluidos en fase de

vapor son aprovechados para la generación de energía eléctrica, al separar el vapor a cierta presión, éste impulsa una turbina que mueve un generador eléctrico (Figs. 1.3 y 1.4).

Actualmente el avance tecnológico, ha permitido que se pueda generar energía eléctrica con fluidos geotérmicos con temperaturas de 85 grados centígrados en adelante, esta técnica ha sido llamada "Ciclo Binario" (Fig. 1.5).

La evaluación de un campo geotérmico para la generación de electricidad tiene que ser técnica, estudiada científicamente, precisa y se deben conocer además de las condiciones geoquímicas las geológicas, geofísicas e hidrogeológicas del reservorio, especialmente su magnitud, porosidad, temperatura, etc. Con estas condiciones se dará comienzo a las perforaciones y de los resultados de éstas dependerá la instalación de los generadores eléctricos.

La energía geotérmica tiene ventajas con respecto a la hidroeléctrica, y mucho más con respecto a la termoeléctrica. Los costos de producción son competitivos y su provisión es constante, ya que no está sujeta a las eventualidades meteorológicas como la hidroeléctrica, ni al almacenamiento y transporte de combustible de la termoeléctrica. No hay polución del ambiente.

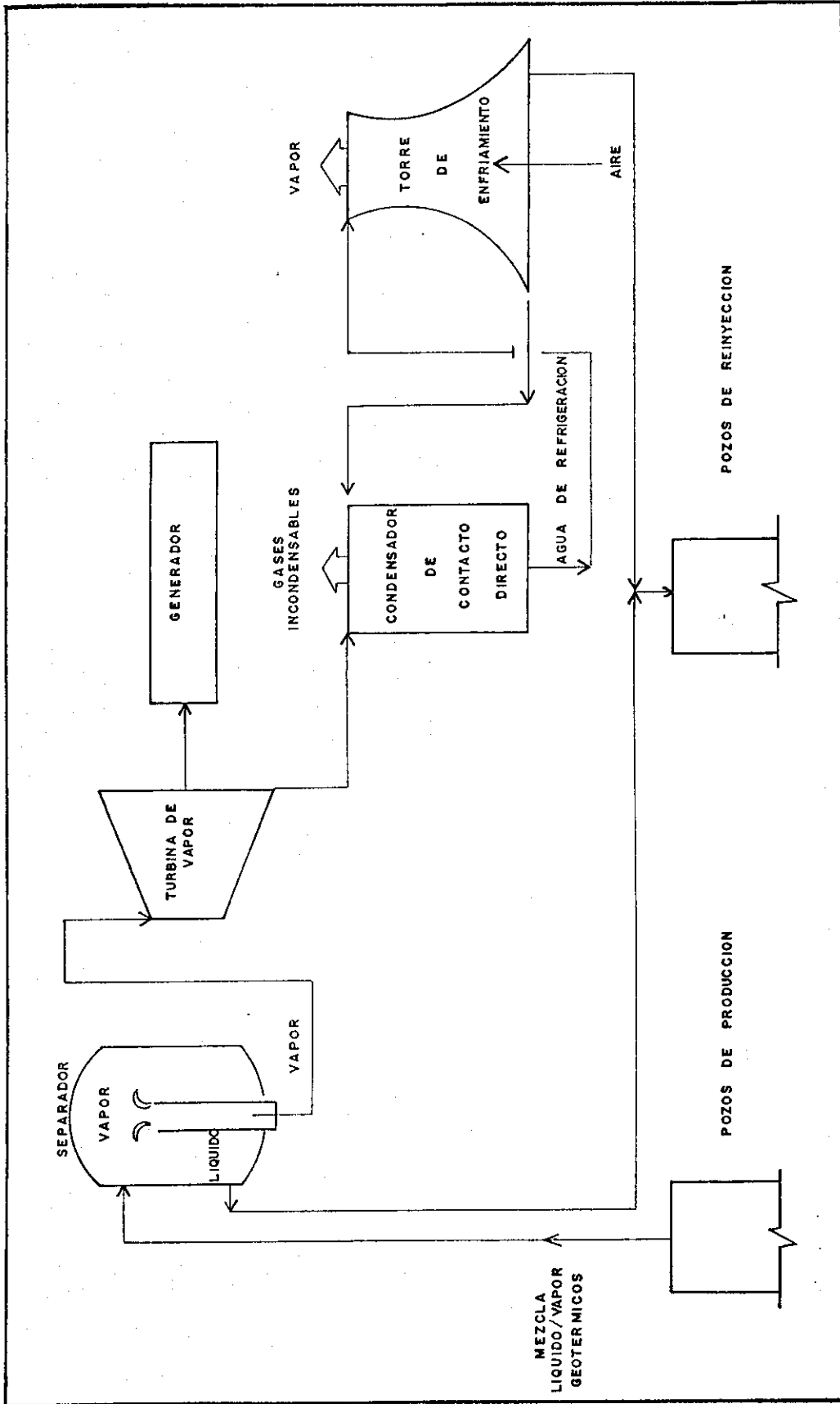
Además de la energía eléctrica, los campos geotérmicos pueden ser aprovechados de otras formas. Algunas aguas termales tienen en suspensión valiosos minerales en disolución que pueden ser aprovechados, tales como: ácido bórico, borax, bicarbonato de amonio, carburo de boro, boro, azufre y diatomita.

En muchos países del mundo donde existen las cuatro estaciones se aprovechan las aguas termales para la calefacción de los hogares en invierno y para la refrigeración en verano. En estos países, con el calor geotermal se mantienen invernaderos que les provee de legumbres durante todo el año.

Las aguas termales con temperaturas mayores de 50 grados centígrados, clasificadas como de media-baja temperatura han sido aprovechadas desde tiempos inmemorables en piscinas, lugares de recreación y turismo o en usos terapéuticos.

Dentro de las numerosas aplicaciones del uso del calor geotérmico en procesos industriales están:

- Agricultura.
- Productos de la floresta.
- Pesca.
- Destilerías y cervecerías.
- Alcohol.
- Combustibles.



CENTRAL DE GENERACION DE EVAPORACION INSTANTANEA EN FASE UNICA

Fig. 1.3

GENERACION ELECTRICA POR MEDIO DE VAPOR GEOTERMICO

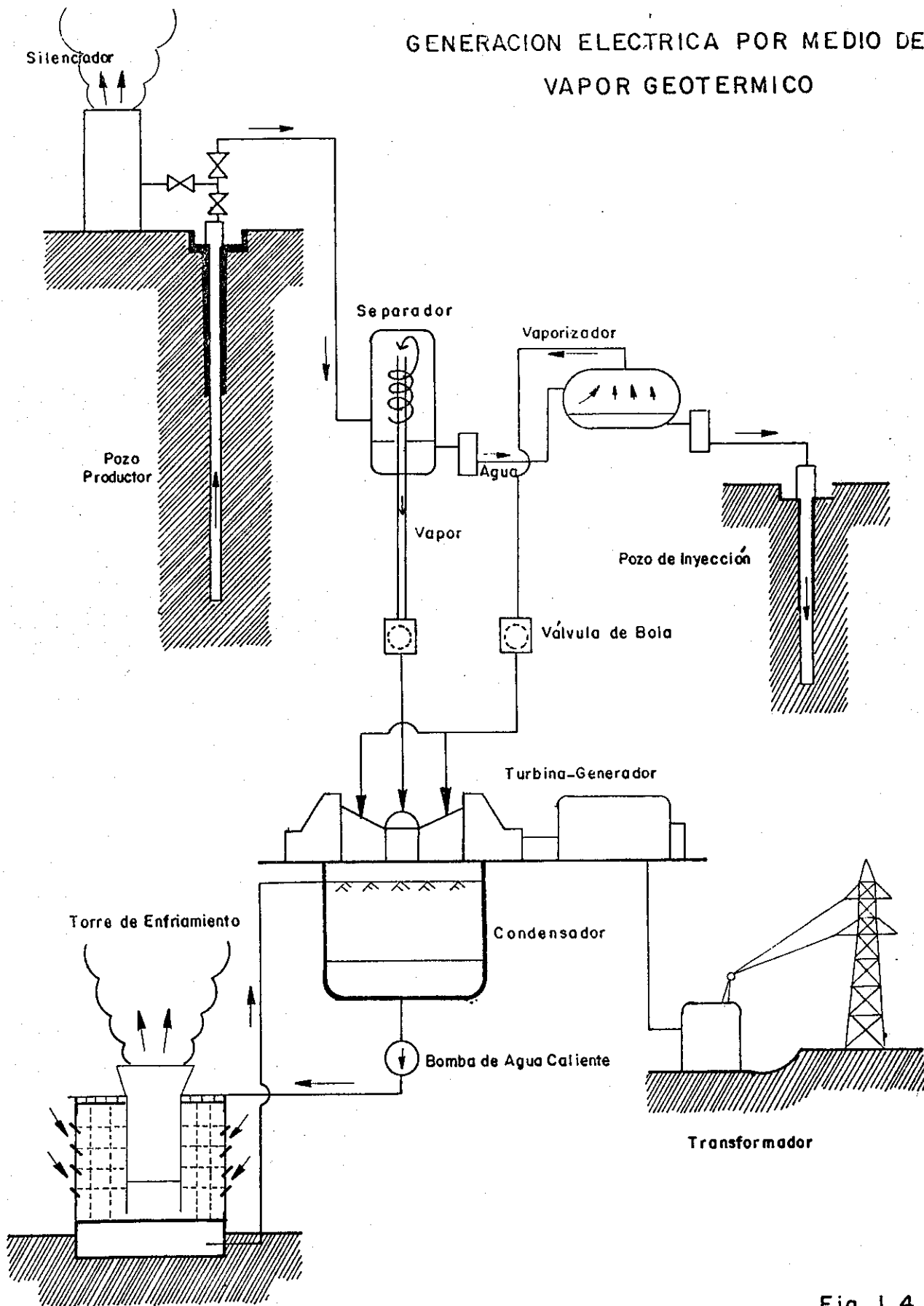
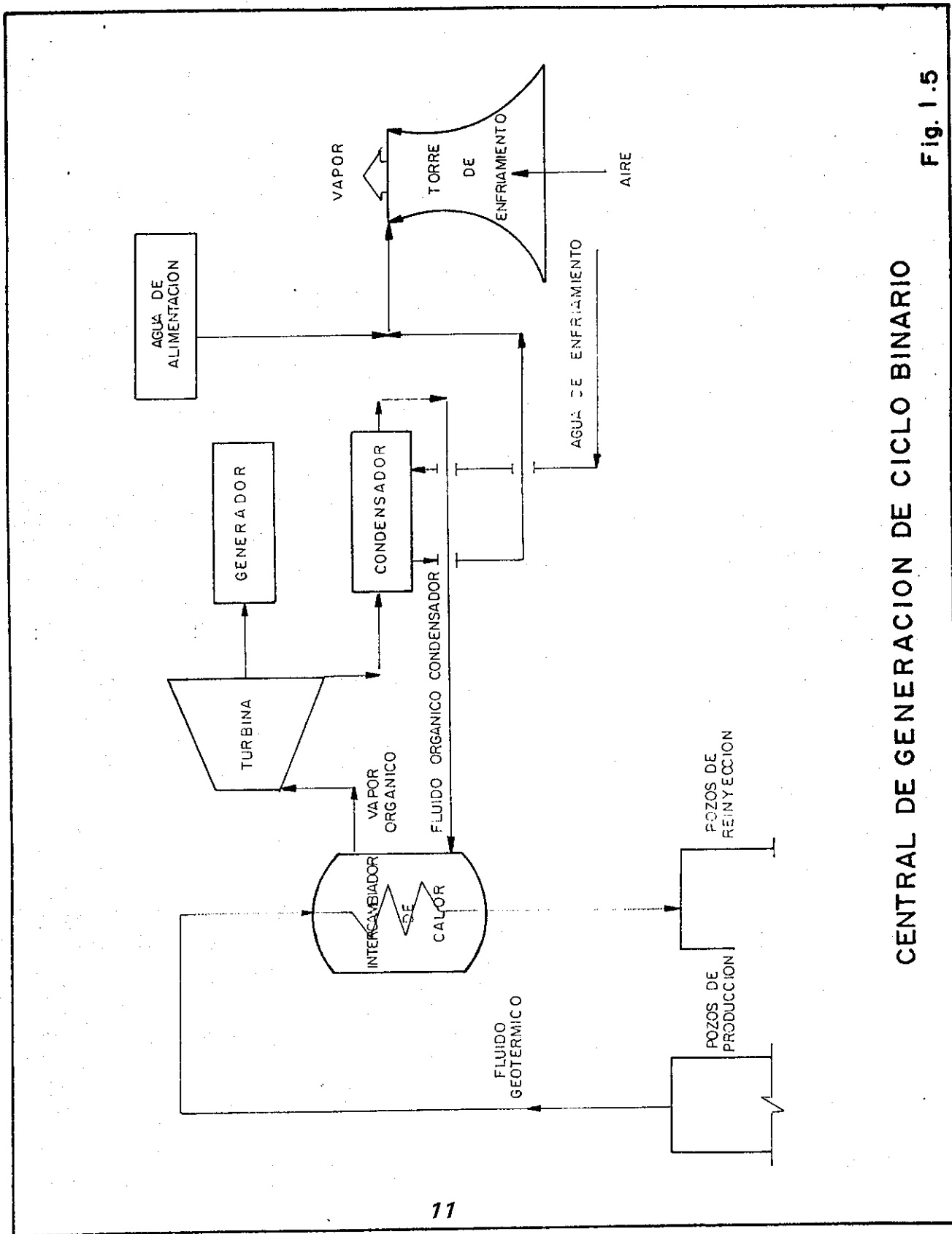


Fig. 1.4



CENTRAL DE GENERACION DE CICLO BINARIO

Fig. 1.5

- *Bloques de construcción.*
- *Fábricas de procesamientos de minerales metálicos.*
- *Fábricas de procesar sal.*
- *Talleres para labrar y fabricar con metales.*
- *Calefacción.*
- *Refrigeración.*
- *Invernaderos.*

2. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS ESTUDIOS QUE SE EFECTUAN PARA LLEVAR UN CAMPO GEOTERMICO A SU FASE DE EXPLOTACION PARA UN PROYECTO DE GENERACION ELECTRICA

2.1 ESTUDIOS PRELIMINARES O DE RECONOCIMIENTO

Consisten en la evaluación con fines geotérmicos de la información geocientífica disponible, complementada con investigaciones preliminares a escala regional. Estos estudios permitirán fijar las primeras hipótesis de trabajo, seleccionar una o más zonas preferenciales para hacer estudios adicionales y plantear de manera correcta las líneas de acción de las fases sucesivas del proyecto (Prefactibilidad y Factibilidad), (Fig. 2.1).

OBJETIVOS:

- *Evaluación preliminar de las posibilidades geotérmicas a nivel nacional o regional, con relación a fuentes energéticas alternantes como hidroelectricidad, combustibles fósiles, etc.*
- *Seleccionar áreas de interés geotérmico en la planeación de exploraciones futuras, considerando los factores técnicos, económicos y sociales.*
- *Determinar un esquema geotérmico preliminar y programa subsecuente de exploración detallada en cada área, definiendo la cantidad de inversiones y estructura técnica necesaria para evaluar el potencial geotérmico del área considerada.*

METODOLOGIA:

a. Evaluación de toda la información existente

Se recolectará la siguiente información:

- *Mapas geológicos detallados, a escala regional.*
- *Síntesis geológica: estratigrafía, geología estructural, historia volcánica, etc.*
- *Imágenes desde satélite y aerofotografía.*
- *Mapas topográficos detallados y regionales.*
- *Información sobre fuentes termales y manifestaciones hidrotermales.*
- *Datos geofísicos, hidrológicos y meteorológicos.*

ETAPAS EN LA EJECUCION DE UN PROYECTO GEOTERMICO

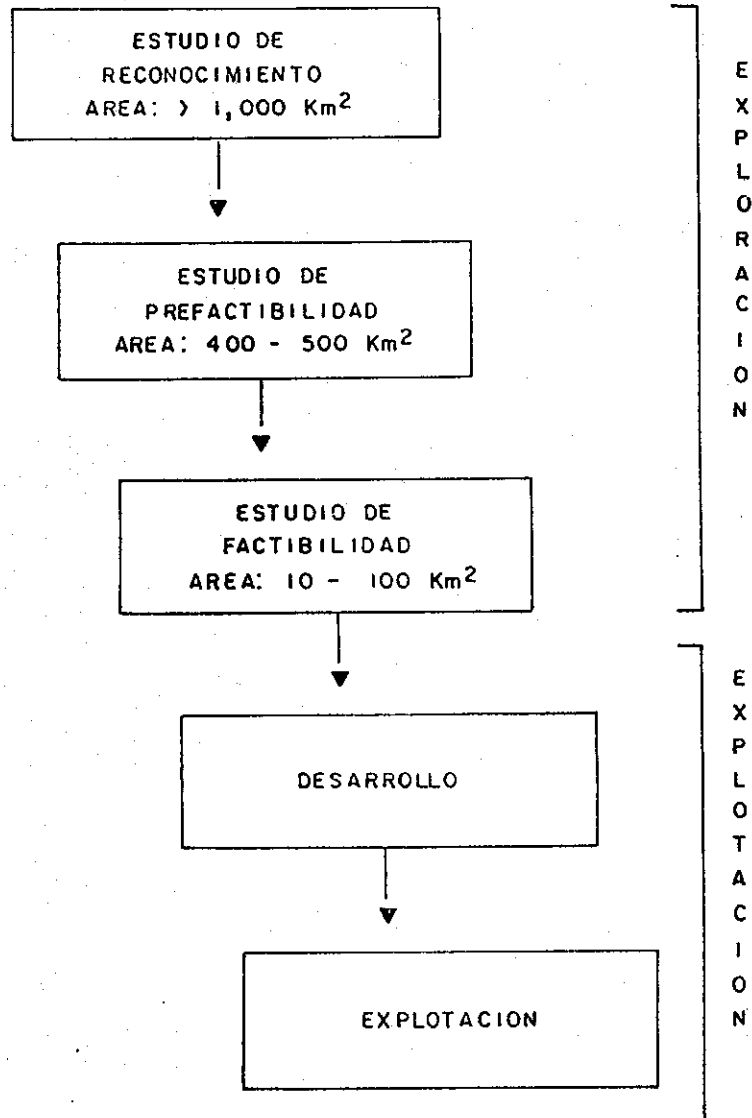


Fig. 2.1

b. Investigación de campo y análisis de laboratorio

El objetivo principal será recolectar información específica relacionada con:

- *La posible presencia de una anomalía térmica a niveles superficiales de la corteza terrestre.*
- *Las condiciones hidrogeológicas regionales.*
- *La naturaleza de las manifestaciones termales.*

En las regiones volcánicas será importante concentrar las observaciones geológicas a los siguientes puntos:

- *Identificar áreas donde exista una concentración de episodios volcánicos recientes.*
- *Evaluar la cantidad relativa de productos volcánicos ácidos que hayan sido producidos por diferenciación de magmas básicos o por anatexia.*
- *Definir, a nivel regional, las relaciones existentes entre las estructuras volcánicas y tectónica regional.*
- *Investigar la posible presencia de cráteres de explosión freática.*
- *Recolectar muestras de tipos litológicos para trabajos analíticos subsecuentes, el trabajo petrográfico estará limitado a estudios de láminas delgadas.*
- *Recolectar muestras de los xenolitos de los piroclásticos para estudios en láminas delgadas.*
- *Determinar la edad absoluta en muestras seleccionadas.*
- *Estudiar en forma preliminar todas las posibles formaciones de cobertura y reservorio.*

En lo que se refiere al trabajo geoquímico e hidrogeológico de campo, se deberá muestrear un número representativo de las aguas de la zona en reconocimiento (manantiales fríos o termales, aguas superficiales o de pozos).

Los análisis químicos permitirán el cálculo de temperaturas del subsuelo mediante la aplicación de geotermómetros tales como SiO₂ (sílice), K/NA/Ca (potasio/sodio/calcio), etc. Las estimaciones de flujo (lt/seg ó lt/min) se requieren para la aplicación de modelos para determinar el posible grado de mezcla entre

flúidos termales y otras aguas del suelo y del subsuelo.

2.2 ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD

El objeto principal es identificar las áreas más prometedoras en las cuales el riesgo sea reducido para pasar de exploración de superficie a exploración profunda.

Esta fase contempla la evaluación preliminar de los recursos posibles.

OBJETIVOS:

- *Definir el modelo geotérmico preliminar del área seleccionada en base a la siguiente información detallada:*
 - *La presencia y origen de las anomalías térmicas.*
 - *Características de las formaciones de cobertura o roca sello.*
 - *El modelo de circulación de agua.*
 - *Tipo y características del reservorio.*
- *Localización de lugares para la perforación de pozos exploratorios profundos de diámetro comercial, los cuales se perforan durante la etapa de factibilidad y de localizarse un reservorio geotérmico se podrán hacer pruebas de producción.*

METODOLOGIA:

a. Geología-hidrogeología-geoquímica

a.1 Geología y vulcanología

1. *Hacer una interpretación aereofotogeológica, tendiente a la definición de fallas, mapeo de estructuras volcánicas, definición de relaciones vulcano-tectónicas y sistemas de fallas relacionadas con posibles intrusiones magmáticas, y a la integración de mapas geológicos existentes.*
2. *Hacer un levantamiento geológico y vulcanológico, con los siguientes objetivos:*
 - *Investigar la presencia de una anomalía térmica a niveles superficiales de la corteza terrestre, tomando muestras representativas de las secuencias volcánicas recientes y estudiando todas las áreas hidrotermales tanto fósiles como activas.*

- *Hacer un mapeo detallado de todas las estructuras volcánicas llevando a cabo un estudio de las características morfológicas.*
- *Identificar las formaciones geológicas de cobertura del yacimiento geotérmico y evaluación de su efectividad incluyendo el mapeo y la toma de muestras de todas las formaciones que presenten características adecuadas de cobertura (impermeables).*
- *Recolectar información sobre la presencia de posibles yacimientos geotérmicos a profundidad rentable.*

a.2 Geoquímica e hidrogeología

Los objetivos principales son los siguientes:

- *Definir el marco geoquímico regional para la mejor comprensión de los patrones de circulación de agua.*
- *Definir la presencia de un sistema geotérmico en el subsuelo, empleando geotermómetros químicos e isotópicos o detectando anomalías de fugas existentes (muestreo de Radón y Mercurio para detectar fallas activas).*

El programa hidrogeológico-geoquímico comprende tres actividades interdependientes que son:

1. Operaciones de campo:

- *Visita a todos los puntos de descarga de agua y descripción detallada de cada punto, incluyendo cálculo exacto del flujo de agua y descripción de la zona alterada adyacente al punto de origen de descarga.*
- *Muestreo del agua y de los gases, siempre en envases adecuados, muestreo de los sublimados en las vertientes termales.*
- *Según el medio ambiente geológico, un análisis de gases He (Helio), Hg (Mercurio), CO₂ (Dióxido de Carbono), pueden indicar la presencia de una anomalía térmica en el subsuelo.*

2. Análisis de laboratorio:

- *Dependiendo de la naturaleza del medio ambiente geológico, normalmente se requiere la determinación de 12 a 18 componentes.*
- *La determinación de los sublimados puede hacerse en forma de análisis químico*

o por rayos X.

3. Interpretación:

Al procesar los datos analíticos se obtendrá como resultado:

- *La identificación de los principales tipos químicos de agua y mezclas existentes.*
- *Una interpretación del posible origen de las aguas termales.*
- *El levantamiento de mapas de las anomalías de fuga.*
- *El cálculo de la temperatura del reservorio.*

b. Geofísica y pozos someros

b.1 Geofísica

El uso de técnicas de prospección geofísica debe estar enfocado a tres objetivos principales:

- 1. Determinar las condiciones geológico-estructurales regionales de la zona donde se encuentran situados los recursos geotérmicos, mediante un estudio de gravimetría y eventualmente uno de magnetometría o aeromagnetometría.*
- 2. Localización y demarcación de anomalías térmicas usando métodos eléctricos tradicionales, mapas y perfiles geoelectricos de resistividad para analizar los contrastes de resistividad asociados a posibles zonas de temperatura anómalas.*
- 3. Determinar condiciones estructurales particulares usando las técnicas electromagnéticas con el método geoelectrico (sondeos eléctricos verticales), magnetotelúrico, magnetotelúrico de fuente controlada, potencial espontáneo (SP), sísmica activa (reflección o refracción), sísmica pasiva (microtemblores) para determinar situaciones geológicas particulares como espesor de cobertura, profundidad de capas geológicas particulares, determinación de fallas activas, etc.*

b.2 Perforaciones someras de múltiple propósito

Los objetivos de estos pozos son los siguientes:

- *Ejecutar una serie de medidas de temperatura a fin de calcular el gradiente térmico y predecir la temperatura en profundidad.*
- *Recolectar muestras de rocas para medidas de conductividad (cálculo de flujo*

calorífico).

- *Recolectar muestras de los fluidos que eventualmente se encuentren, y efectuar análisis químicos para integrarlos al estudio químico superficial.*
- *Mediciones de resistividad eléctrica a través de la sección perforada, para correlacionar las investigaciones de resistividad eléctrica superficial.*
- *Estudio de la secuencia estratigráfica y/o litológica.*

Solamente un conocimiento detallado de las condiciones superficiales geológicas, hidrogeológicas e hidroquímicas permitirá realizar una estimación y extrapolación del gradiente geotérmico, de las temperaturas y de las posibilidades de producción.

2.3 ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD

Los prospectos geotérmicos cuya etapa de prefactibilidad haya sido superada positivamente, evolucionará hacia la etapa de factibilidad, la cual se define como la etapa de existencia de un yacimiento mediante la perforación de pozos exploratorios profundos, la evaluación del potencial energético de un área seleccionada basándose en los estudios de la etapa de prefactibilidad y el diseño preliminar de los sistemas de utilización del recurso detectado.

Al inicio de esta etapa se debe contar con un esquema geotérmico preliminar del área, así como también con la ubicación de los puntos prioritarios para realizar la perforación exploratoria profunda.

Un estudio de factibilidad se considera completo, cuando el modelo del sistema geotérmico es conocido en sus parámetros esenciales y se han determinado las características principales de la central eléctrica, habiéndose precisado también su factibilidad económica.

Un modelo numérico del campo se utiliza luego para la predicción del comportamiento del yacimiento bajo distintos escenarios de producción y manejo del campo. El modelo numérico se basa exclusivamente en el modelo conceptual, para asignar y distribuir las propiedades físico-químicas y estructurales a los bloques que componen la red del modelo numérico. Por lo tanto, el grado de detalle, la exactitud y la fidelidad con que el modelo conceptual describe la mecánica del yacimiento, cobran una importancia relevante.

Cuando se obtienen los datos señalados, se definen las características del yacimiento recién descubierto así como su potencial energético. Por medio del modelado del campo se determinan los posibles esquemas de utilización y el programa de operaciones a realizarse en la subsecuente etapa de desarrollo.

Como parte de estos estudios si el recurso geotérmico va a ser utilizado para generar energía eléctrica, se realiza una comparación de los costos de la energía eléctrica que puede producirse a partir del recurso geotérmico y venderse en un centro de consumo, contra el costo de otras alternativas similares desde el punto de vista comercial, por ejemplo:

- a) Plantas hidroeléctricas*
- b) Plantas que emplean combustibles fósiles*
- c) Plantas nucleares*
- d) Plantas que utilizan recursos energéticos no convencionales (biomasa, solar, eólica, etc.)*

OBJETIVOS:

El objetivo principal del estudio de factibilidad consiste en la caracterización de un yacimiento geotérmico comercial, la evaluación del potencial geotérmico del área prospectada y el diseño preliminar de los posibles sistemas de utilización de los recursos descubiertos.

Estos objetivos serán alcanzados a través de perforaciones exploratorias profundas, estudios geocientíficos adicionales, estudios de ingeniería de yacimientos y finalmente, un análisis técnico-económico de los posibles esquemas de utilización.

En esta etapa se definen las características y el potencial del yacimiento geotérmico, la capacidad propuesta para la central a construir, las obras de apoyo que se requieren para el suministro de fluido a la misma y el ciclo óptimo de conversión de energía, durante esta etapa quedarán propuestos los esquemas de desarrollo y de manejo del campo.

Los distintos escenarios de exploración, optimizados por medio del modelado conceptual y numérico, serán utilizados para definir los esquemas de explotación y eliminación de los fluidos de desecho que mejor se acomoden a las necesidades dictadas por los distintos subsistemas que conformen la central eléctrica.

El diseño de la central deberá quedar establecido durante esta etapa, al igual que los criterios de diseño de los diferentes subsistemas de apoyo que componen al sistema campo-central, esto incluye el diseño que será adoptado para los pozos de producción, inyección y observación.

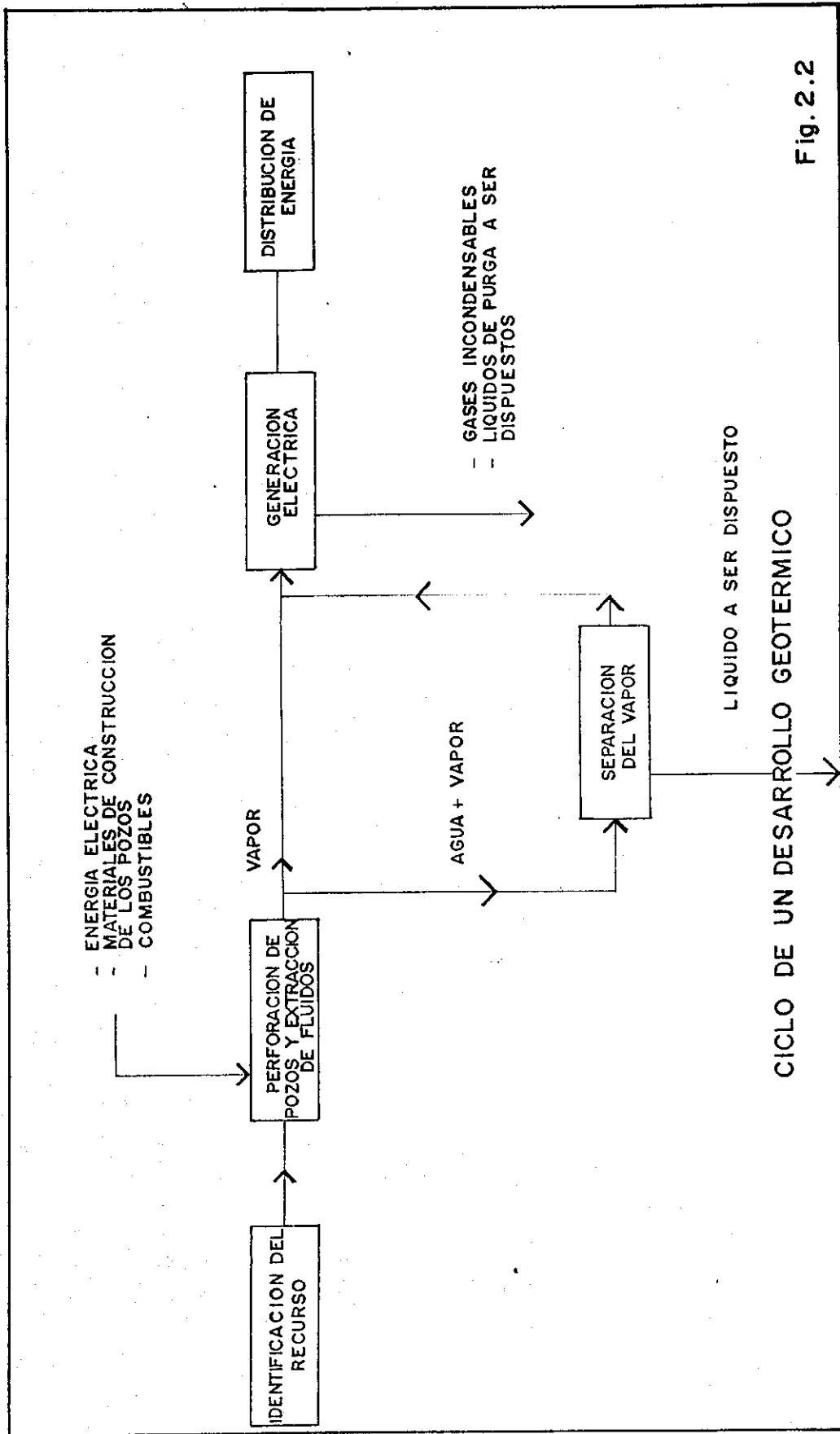


Fig. 2.2

2.4 DESARROLLO DEL CAMPO

La fase de desarrollo (Fig. 2.2) es la continuación en detalle de los estudios geocientíficos que forman parte de la evaluación del reservorio, la búsqueda y extracción del recurso y la elaboración del proyecto definitivo hasta la construcción de la planta generadora de electricidad.

2.4.1 UBICACION DE POZOS DE PRODUCCION Y REINYECCION

Tomando como base los resultados obtenidos en las fases de reconocimiento, prefactibilidad y factibilidad, a continuación se exponen los diversos criterios que se recomienda tomar en consideración para la ubicación de los pozos de producción y reinyección.

a. Criterios geocientíficos

- *Geológicos-Vulcanológicos: éstos deben de estar basados en un conocimiento amplio y adecuado al modelo geológico del campo geotérmico.*
- *Estructurales: los criterios adoptados, en base al conocimiento de las condiciones estructurales de un campo, permiten disminuir las probabilidades de error en la localización de pozos productores.*
- *Estratigráficos: el conocimiento de las condiciones stratigráficas del campo aporta criterios adicionales para la ubicación de pozos.*
- *Geohidrológicos: la geohidrología de un campo geotérmico es un aspecto determinante en la ubicación de pozos, comprende:*
 - a. *Definición de la cuenca de recarga.*
 - b. *Definición de zonas y flujos de recarga.*
 - c. *Identificación de los diferentes acuíferos de la zona.*
 - e. *Características hidroquímicas e isotópicas de los acuíferos.*
 - f. *Determinación del modelo preliminar geohidrológico.*
- *Geoquímicos: un buen conocimiento de las condiciones geoquímicas de los fluidos geotérmicos permite conocer su procedencia, interacciones que han sufrido durante su camino y temperatura de origen.*
- *Geofísicos: al aplicar métodos geofísicos permite la definición de las posibles estructuras existentes en el subsuelo y por consiguiente, ayuda en la ubicación de pozos.*

Los criterios de aplicación se apoyan en los siguientes métodos:

- a. Determinación e interpretación de anomalías electromagnéticas, gravimétricas y microsísmicas.*
- b. Aplicación de métodos sismológicos.*
- c. Determinación de los patrones de flujo térmico.*

b. Criterios termodinámicos

El conocimiento de los parámetros termodinámicos de los pozos existentes contribuye a ubicar los pozos a perforar, mediante la interpretación de las siguientes características:

- *Distribución de temperatura en el campo.*
- *Correlaciones entálpicas de los pozos.*
- *Variaciones de las características termodinámicas.*

2.4.2 PERFORACION Y TERMINACION DE POZOS

Además del número de pozos requeridos para suministrar el vapor necesario para la central, se deberán perforar unos de respaldo.

a. Diseño del pozo

Estará de acuerdo a las condiciones geológicas, atendiendo la subdivisión genérica de:

- *Campo en rocas sedimentarias.*
- *Campo en rocas volcánicas.*

Para las características de cada uno deberá considerarse lo siguiente:

- *Objetivo*
- *Tipo de formaciones rocosas*
- *Profundidad*
- *Especificación de los ademes o tubería de protección de las paredes del pozo*
- *Diámetro de perforación*
- *Calidad de las tuberías de ademe y capacidad mecánica*
- *Tipo de juntas*
- *Accesorios para cementaciones*
- *Cementos*
- *Terminación*

b. Ejecución de la perforación

Se tomarán en cuenta los siguientes factores:

- Perforación por contrato o administración
- Perforación
- Programa técnico
- Equipo de perforación
- Técnicas de perforación
- Problemas durante la perforación

c. Criterios de terminación

Para la terminación del pozo se podrán tomar en cuenta los siguientes factores:

- Columna litológica
- Registros eléctricos
- Temperaturas del lodo de perforación, a la entrada y salida del pozo
- Registros de temperatura (definiendo zonas de pérdida de circulación de lodos)
- Análisis mineralógico de las muestras de canal

d. Estimación de costo

La estimación de costos totales de perforación durante la etapa de desarrollo y explotación, están influidos por la experiencia alcanzada en la etapa de perforación exploratoria de pozos profundos de diámetro comercial perforados durante la factibilidad del campo.

2.4.3 INSTALACIONES SUPERFICIALES EN PLATAFORMA

Se dividen en dos tipos:

- Instalaciones de Obra Civil
- Instalaciones de Obra Mecánica

a. Instalaciones de obra civil

Las principales actividades que se desarrollan son:

- a.1 Localización y trazo topográfico.
- a.2 Proyecto y construcción:

- Caminos de acceso

- Plataformas
- Contrapozo
- Silenciadores
- Bases de soportería y del separador

b. Instalaciones mecánicas

- Arbol de válvulas
- Soporte de árbol de válvulas
- Instrumentación
- Separador y válvulas esféricas e instalaciones complementarias

2.4.4 DESARROLLO Y EVALUACION DE POZOS

Terminada la perforación de cada pozo de desarrollo, se deben cumplir varias etapas hasta llegar a su evaluación, conociendo además las características del fluido producido.

Las etapas son las siguientes:

a. Observación

b. Inducción:

Los métodos de inducción más comunes son:

- Presurización por gases
- Pistoneo
- Cubeteo
- Bombeo
- Inyección de fluidos geotérmicos
- Inyección de aire con tubería

c. Calentamiento

d. Desarrollo

e. Evaluación:

Los métodos más comunes de evaluación dependerá principalmente del tipo de campo a desarrollar:

- Campos productores de mezcla (agua-vapor)
- Vapor dominante

2.4.5 SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS GEOTERMICOS

Como parte del anteproyecto y una vez definida la localización de los pozos productores o inyectores y de la central, deberá seleccionarse el sistema de transporte o acarreo de fluidos, que incluye el tipo de fluido a conducir, modo de la transmisión, trayectoria de los ramales y dimensiones respectivas.

Los tipos de transporte son:

- *Transporte en una fase (vapor)*
- *Transporte de mezcla (agua-vapor)*
- *Transporte de agua para reinyección*
- *Transporte de gases incondensables*
- *Optimización técnico-económica*
- *Mediciones de caudales*

2.4.6 PROYECTO DE CENTRALES GEOTERMICAS

El proyecto de centrales geotérmicas se divide en dos grandes etapas:

- *Ingeniería Básica*
- *Ingeniería de Detalle*

2.4.6.1 Ingeniería Básica:

a. Información general:

Se debe producir un documento de información general que proporcione los siguientes datos:

- *Nombre de la central*
- *Localización geográfica, red a que se conectará, vías de acceso, facilidades, climatología, etc.*
- *Localización de los pozos asignados a la planta y sus características de operación (flujos, presiones, entalpías, composición química, etc).*
- *Temperatura de diseño del agua de enfriamiento*
- *Coeficiente sísmico de diseño*
- *Parámetros económicos a utilizar en los estudios de optimización y en las evaluaciones: vida útil, factor de planta, costo del KWh, costo de la tonelada de vapor, tasa de interés, etc.*

b. Optimización:

Se debe desarrollar un grupo de estudios previos que defina las condiciones de operación, tales como:

- *Selección del ciclo de la central*
- *Estudio para la localización de la unidad y el equipo de superficie*
- *Determinación de la forma de conducción de los fluidos geotérmicos*
- *Optimización de las presiones de operación*
- *Número y capacidad de unidades turbogeneradoras*
- *Optimización de los sistemas de vacío y agua de circulación*
- *Estudio del impacto ambiental y de las alternativas para la disposición de los efluentes (reinyección, lagunas de evaporación, canales de conducción a centros receptores, estanques de retención de Silice, etc.)*
- *Balances térmicos*
- *Comportamiento de materiales expuestos al ambiente y fluidos del campo geotérmico.*
- *Estudio de mecánica de suelos.*

c. Programas:

Este grupo de actividades está formado por la planeación detallada del proyecto completo y la emisión de:

- *Programas de fechas clave*
- *Programa de inversiones*
- *Programa de personal para el diseño*
- *Manual de procedimientos y aseguramiento de calidad del proyecto.*

d. Criterios de diseño:

En este grupo de actividades está la preparación de los criterios de diseño:

Generales de las disciplinas

- *Mecánica*
- *Eléctrica*
- *De instrumentación y control (operación a control remoto, manual y automático).*
- *Civil y arquitectónica (incluyendo la determinación de si la planta será a la intemperie o cubierta).*

e. Dibujos:

Se deben preparar los siguientes dibujos:

- *Localización general de planta y pozos*
- *Arreglo general de la planta y áreas exteriores*
- *Arreglo de equipo en planta de cada nivel de la casa de máquinas*
- *Cortes y elevaciones*
- *Diagrama unifilar general de la subestación, con la forma de interconexión al sistema*
- *Diagrama de tubería e instrumentación de los diferentes sistemas*
- *Arreglos de equipo en plataforma de pozos*
- *Trazo preliminar de tuberías en el campo*

f. Especificaciones para la adquisición de la central:

Además de las especificaciones técnicas se debe incluir toda la información necesaria para que el fabricante de la central geotermoeléctrica prepare su propuesta, tales como:

- *Factores de evaluación y penas por incumplimiento de entrega de la central*
- *Altura de túneles y puentes para transportar el equipo al proyecto*
- *Especificaciones para motores de inducción y tableros de control*
- *Desviaciones, adiciones, suplementos y excepciones*
- *Garantías de comportamiento*
- *Relación de dibujos y diagramas a suministrar*
- *Dibujos y datos requeridos después de la orden*
- *Precios de la oferta*
- *Programas de entregas.*

2.4.6.2 Ingeniería de detalle:

- *Elaboración de especificaciones*
- *Evaluación de ofertas*
- *Revisión y aprobación de planos de fabricantes*
- *Elaboración de planos y modelos*
- *Programas detallados de ingeniería*
- *Libro de datos de la central*
- *Manual de operaciones*

2.4.7 CONSTRUCCION DE CENTRALES GEOTERMoeLECTRICAS

a. Programa general de construcción:

- *Objetivo*
- *Preparación*
- *Aprobación*
- *Programa histórico*

b. Programas intermedios de construcción

c. Programas detallados de construcción

Es un desglose de las actividades de un sistema o montaje de un equipo, contemplado en un programa intermedio de construcción, conservando la duración definida en los programas intermedios, programa general de construcción y programa de fechas clave, el objetivo de los programas detallados de construcción es construir una guía diaria de las actividades de construcción

- *Registro de abastecimientos*

Forma parte del programa general de construcción y permite el control de calidad y el seguimiento de las adquisiciones necesarias para la ejecución de la obra.

- *Catálogo de cuentas*

El grado de complejidad y nivel de detalle deberá ser tal que facilite la separación de los costos y cantidades significativas, pero usando el número mínimo de cuentas que permita obtener un seguimiento efectivo del proyecto. El catálogo de cuentas permite el seguimiento de los costos y las cantidades de horas-hombre durante la construcción de un proyecto.

- *Presupuestos*

Proporcionan la información necesaria y básica, estiman las cantidades a ejecutar de acuerdo a un calendario, clasificando las inversiones durante la ejecución de la obra.

- *Registro de costos y compromisos*

Es un documentos en el que se registran los compromisos para la adquisición de materiales, equipo y su costo. En cada proyecto se deben llenar dos tipos de registros:

- Registro de costos de materiales
- Registro de costos de mano de obra

- Prestaciones y otros gastos de mano de obra

Aquí se incluyen todas las erogaciones por prestaciones y ayudas otorgadas al personal.

2.4.8 PLANTAS A BOCA DE POZO

Considerando el tiempo que transcurre entre la perforación de los primeros pozos productores de un campo geotérmico y la construcción de la central definitiva y que los pozos geotérmicos representan una inversión alta, se ha considerado la utilización de plantas a boca de pozo, que aprovechen el vapor de los primeros pozos exploratorios necesarios para la evaluación con fines de generación eléctrica. Las unidades de capacidad entre 3,000 y 20,000 Kw, además de servir para monitorear la evolución del yacimiento geotérmico, sirven para amortizar las inversiones que representa el desarrollo del campo y a la vez que se utilizan como herramienta de evaluación para cuantificar el potencial geotérmico del mismo.

a. Tipos de plantas:

- *Plantas de flujo Total: Actualmente se dispone solamente de plantas experimentales de 1,000 Kw de este tipo, que se están probando en diversos campos del mundo, pero aún no hay ninguna aplicación industrial de las mismas.*

- *Plantas convencionales a condensación de pequeña capacidad: En ocasiones se instalan a pie de pozo plantas de condensación de pequeña capacidad. Su conveniencia es cuestionable pues no realizan las economías de escala de las centrales grandes, ni tienen la versatilidad en sencillez de instalación y facilidad de transporte de las plantas a boca de pozo con descarga atmosférica.*

- *Plantas portátiles con descarga atmosférica: Se ofrecen hoy día en el mercado hasta con una capacidad de 10,000 Kw, son plantas paquete cuya instalación puede ser relativamente rápida, el costo por Kw instalado de este tipo de plantas es menor que el de una planta de condensación, pero es menos eficiente que ésta, porque tienen un mayor consumo específico de vapor. Su aplicación es útil en la explotación inicial de campos geotérmicos, aprovechamiento de pozos con alto contenido de gas y otros casos especiales, debido a la relativa baja inversión requerida y a la prontitud con que puede iniciarse la explotación de pozos, presentan ventajas económicas que inclusive, las podrían hacer en determinado momento la alternativa más favorable para la*

central generadora definitiva. Además son menos vulnerables a los riesgos relacionados a la incertidumbre de la capacidad del yacimiento, a los fenómenos naturales típicos de zonas volcánicas y, por su simplicidad y tamaño, a los eventuales errores humanos.

b. Criterios de selección

Al seleccionar la planta más adecuada para una instalación a boca de pozo deben tomarse en cuenta las siguientes características:

- *Características de los pozos y fluidos que producen*
- *Grado de portabilidad*
- *Costo por Kw instalado*
- *Consumo específico de vapor*
- *Tipo de materiales utilizados en su construcción*
- *Características electromecánicas del diseño*
- *Características del sistema al que irá conectada*
- *Impacto ambiental en la zona de instalación*
- *Sencillez del equipo y su infraestructura asociada*
- *Confiabilidad*

c. Infraestructura

Para el caso de las plantas portátiles con o sin condensación, se requiere la siguiente infraestructura:

- *Vapor ductos y sistema de protección*
- *Separadores y eliminadores de humedad. Los primeros son requeridos solamente en el caso que los pozos produzcan agua-vapor (mezcla).*
- *Silenciador en el escape de la turbina, con un arreglo adecuado para que no se contaminen los equipos eléctricos. Se requieren en cualquier tipo de campo y su diseño dependerá de cada caso específico.*
- *Subestación y Líneas de Transmisión. Cada caso deberá resolverse de acuerdo con las características locales del sistema.*
- *Sistema de evacuación de fluidos. Se deberá contar con los sistemas de evacuación de agua separada, condensada y purgas.*
- *Obras Civiles. Cimentación de diseño y masa adecuada para tolerar las vibraciones de la máquina, soportería de las tuberías capaz de absorber posibles asentamientos.*

d. Recomendaciones generales

Debido a que este tipo de máquinas son instaladas, en ocasiones, en pozos de capacidad inferior a la nominal de la planta, deben ordenarse con medios de

obturar parcialmente la admisión de vapor en forma que se obtenga la máxima eficiencia posible a cargas intermedias.

2.4.9 EVACUACION DE FLUIDOS Y CONTROL AMBIENTAL

A continuación se presenta lo relacionado con la evaluación de fluidos y su control para protección ambiental en fases de desarrollo y explotación para establecer un programa de control sistemático.

1. DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES

a) Reinyección:

Se presenta como una solución adecuada a los problemas de contaminación ambiental, permitiendo si se inyectan dentro del yacimiento, disminuir las posibilidades de asentamientos del terreno por efectos de la explotación, complementar la recarga natural de los acuíferos y aumentar la extracción del calor almacenado en la formación.

b) Corrientes superficiales a través de canales y cuerpos receptores:

El sistema de evacuación consiste en canales o cauces revestidos de concreto, que conducen el efluente geotérmico desde las instalaciones superficiales hasta los cuerpos receptores, las incrustaciones que se depositen deben ser removidas periódicamente.

Cuando las descargas de aguas geotérmicas se efectúan en ríos que poseen caudales lo suficientemente elevados, que permitan diluir el agua geotérmica abajo de los niveles máximos aceptados por las normas establecidas, se considera una alternativa aceptable, aunque con limitaciones para la expansión de los sistemas.

Cuando los residuos se conducen hasta el océano, es recomendable realizar las investigaciones necesarias que aseguren la dilución suficiente para minimizar los cambios de las condiciones en el área de descarga.

c) Lagunas de evaporación:

Este sistema puede combinarse con la extracción de productos químicos específicos y su explotación en la industria, se estudian métodos de tratamiento de aguas residuales cuyo objetivo es disminuir los problemas durante la reinyección y eliminación de residuos.

d) Controles en cauces naturales por descargas superficiales:

Se deben considerar los siguientes factores:

- *Características químicas del cuerpo receptor*
- *Características químicas de acuíferos someros*
- *Muestreo y análisis químicos de afloramientos y pozos someros cercanos al cauce de desecho*
- *Muestreo periódico de suelos y su análisis*

2. DESCARGA DE GASES NO CONDENSABLES

Se recomienda implementar un programa de medición de niveles de sulfuro de hidrógeno (H₂S) en el medio ambiente, con la finalidad de que en etapas subsecuentes de expansión, se tenga suficiente información para conocer y pronosticar su impacto.

En los casos en que los niveles de H₂S excedan de lo permisible, se procederá a emplear procesos químicos con los que se oxide o reduzca el sulfhídrico para abatir esta contaminación.

3. ASENTAMIENTO DEL TERRENO Y SISMICIDAD

Para detectar estos asentamientos es necesario:

- *Hacer levantamientos topográficos de primer orden, para medir movimientos verticales y horizontales.*
- *Instalar una red sísmica, para determinar si hay cambios sísmicos que pudieran relacionarse con la explotación del recurso.*

2.5 EXPLOTACION DEL CAMPO

La fase de explotación, define los parámetros más importantes que permiten de una manera general la optimización en el manejo del fluido geotérmico, desde su extracción del reservorio hasta la producción de energía eléctrica en forma continua y confiable, considerando la evolución del campo en función del terreno.

2.5.1 OPERACION DE CAMPO Y CENTRAL

a) Operación de pozos:

Los criterios de operación de pozos en la etapa de explotación son los mismos de la etapa de desarrollo y evaluación. Durante la etapa de explotación se debe llevar un historial de cada pozo en lo referente a:

- *Presión en la cabeza*
- *Grado de apertura*
- *Gastos de vapor y agua*
- *Características termodinámicas y químicas del fluido*
- *Contenido de sólidos arrastrados*
- *Perfiles de temperatura, presión y calibración*
- *Informes detallados de intervenciones y maniobras diversas*
- *Comportamiento de elementos mecánicos instalados*

Cuando se tengan pozos de reinyección en operación, se deberá recopilar la misma información.

b) Operación de sistemas de separación y transporte

Las maniobras de operación básicas están en función de las siguientes necesidades:

- *Integración de pozos al sistema de la central*
- *Control de nivel de agua en el separador*
- *Cuantificación de flujo y determinación de la calidad del vapor separado*
- *Mantenimiento o reparación de las instalaciones*
- *Muestras químicas y de sólidos*
- *Salida del pozo del sistema de la central*

c. Operación y mantenimiento de centrales geotermoeléctricas

1. Operación:

Las centrales geotermoeléctricas se operan como centrales de carga base, con el objeto de aprovechar mejor la energía del campo geotérmico.

Es de gran importancia conocer los contaminantes del vapor y del agua con que opera la central, con el fin de prevenir o resolver los problemas que éstos pudieran producir al equipo y al personal.

2. Mantenimiento:

Cada campo geotérmico presenta características particulares que originan condiciones específicas de mantenimiento en la central, se pueden considerar entre los aspectos comunes la presencia de incrustaciones en las turbinas y la presencia de

sulfuro de hidrógeno.

Para evitar problemas de contaminación ambiental y corrosión en el área de la central, es importante disponer y mantener operando el sistema de desecho de gases no condensables. Por el carácter tóxico del H₂S, se recomienda que sus niveles de concentración no sobrepasen los permitidos.

2.5.2 MANTENIMIENTO DE POZOS Y CAMPO

a) Mantenimiento de Pozos

Esta actividad está destinada a mantener los pozos en las mejores condiciones de trabajo posibles durante su vida útil, comprende desde la válvula maestra hasta el fondo, incluyendo carrete de expansión, tubería de anclaje, tuberías de producción y tuberías cortas.

Los problemas que se pueden presentar en tuberías son:

- *Incrustaciones en las tuberías de producción*
- *Colapsos y fracturas en las tuberías de producción*
- *Corrosión en las tuberías de producción*
- *Incrustaciones de zona productora*
- *Descontrol de pozos*

b) Mantenimiento del Campo

El mantenimiento de un campo geotérmico en explotación comprende aquellos trabajos tendientes a conservar en buen estado de funcionamiento los elementos mecánicos y obras civiles de superficie como:

- *Arbol de válvulas del pozo*
- *Interconexión pozo-separador*
- *Sistema de protección del equipo*
- *Separador*
- *Válvulas de corte*
- *Tuberías conductoras de mezcla, vapor y agua*
- *Aislamiento térmico de tuberías conductoras*
- *Soportería y estructuras metálicas*
- *Sistema de drenaje*
- *Silenciador y canal vertedor*
- *Contrapozo*

2.5.3 CRITERIOS BASICOS PARA ANALISIS, EVALUACION Y PRONOSTICO DEL COMPORTAMIENTO DE RESERVORIOS

Los estudios del reservorio, desde la evaluación y análisis estadístico de datos hasta su utilización como una herramienta de predicción por medios empíricos o modelos matemáticos, se iniciaron a partir de técnicas petroleras y geohidrológicas que, con el tiempo, han tomado su fisonomía propia y forman ya parte de una tecnología geotérmica.

a) Análisis Estadístico de la Información

Partiendo del análisis estadístico de la información, se pueden estructurar las políticas de explotación del reservorio. La información más importante a considerar es la siguiente:

- *Perfiles de presión en los pozos*
- *Perfiles de temperatura en los pozos*
- *Presiones de cabezal*
- *Producción de los pozos*
- *Curvas características de producción*
- *Variaciones químicas de fluidos geotérmicos producidos*
- *Historia de la entalpía o temperatura de los fluidos producidos o inyectados*
- *Caudales reinyectados*
- *Comportamiento de pozos de observación*

b) Interpretación de los Cambios de los Parámetros con el Tiempo

El flujo en el reservorio y en los pozos depende de muchos factores como son:

- *Características del reservorio (propiedades físicas, condiciones de frontera, etc)*
- *Procesos físicos y químicos que ocurren en el mismo (conducción y convección térmica, flujo de masa, condensación y ebullición, reacciones químicas, etc)*
- *Operación*
- *Características*
- *Número y localización de pozos productores e inyectores*
- *Intensidad de la explotación del recurso energético*

Estos parámetros y procesos pueden cambiar con la evolución del sistema por la explotación, no se pueden extrapolar los valores medidos mediante métodos empíricos para pronosticar el comportamiento futuro del reservorio.

Se debe desarrollar un modelo conceptual del sistema geotérmico antes de que se inicie la explotación, estos modelos se cuantifican, desarrollando con métodos matemáticos un modelo del estado natural del sistema geotérmico anterior al inicio de

la explotación.

Este modelo natural, deberá arrojar valores (temperaturas, presiones, características químicas de los fluidos, descarga de las manifestaciones superficiales, etc.) que sean comparables con los medidos originalmente en el campo.

2.5.4 POLITICAS DE EXPLOTACION

Las políticas de explotación son aquellas recomendaciones derivadas del conocimiento del campo y cuyos objetivos son:

- *Acciones en cuanto a la forma de explotación del reservorio.*
- *Acciones en cuanto a las condiciones de operación de los pozos.*
- *Acciones en cuanto al manejo de fluidos de desecho.*

2.5.5 CRITERIOS BASICOS PARA EL ANALISIS DE COSTOS DE INVERSION Y DE GENERACION

a) Metodología

Es indispensable partir de la base de que se conoce con exactitud la capacidad del reservorio. Los costos de una geotermoeléctrica se dividen en:

- *Costos de inversión: es todo aquello que se eroga antes de la puesta en operación comercial de la planta.*
- *Costos de generación: es todo aquello que se eroga después del inicio de la operación comercial.*

Las actividades que corresponden a inversión en un campo geotérmico se dividen en:

- *Exploración*
- *Pozos exploratorios*
- *Pozos productores*
- *Pozos de respaldo*
- *Central*
- *Area de pozos y ductos*
- *Indirectos (gastos por administración central)*

Los costos de generación se agrupan en:

- *Operación y mantenimiento de la central*
- *Reparación de pozos*
- *Reposición de pozos*
- *Operación y mantenimiento de campo*
- *Indirectos (por administración)*

3. INFORMACION REQUERIDA PARA EVALUAR SI UN PROYECTO GEOTERMIOELECTRICO PRESENTA SITUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL ADVERSAS PARA SU EJECUCION

3.1 DATOS GENERALES.

La siguiente información es necesaria escribirla sin abreviaciones y legible, cuando existan varios departamentos involucrados en el plan o proyecto, anotarlos, pero señalando quién es el responsable.

- *Organismo o empresa responsable del proyecto*
- *Organismo proponente*
- *Domicilio para recibir notificaciones*
- *Calle/Número*
- *Ciudad*
- *Departamento*
- *Zona postal*
- *País*
- *Télefono*
- *Nombre completo de la persona responsable*
- *Puesto*
- *Registros obligatorios conforme a la ley*
- *Actividad principal de la empresa u organismo*
- *Nombre del proyecto*
- *Naturaleza del proyecto (descripción a partir de la memoria técnica)*
- *Tipo:*
- *Capacidad proyectada:*
- *Inversión:*
- *Vida útil:*
- *Políticas de crecimiento futuro*
- *Ubicación del proyecto*
- *Localidad:*
- *Municipio:*
- *Departamento:*
- *Coordenadas del área del proyecto*
- *Latitud:*
- *Longitud:*
- *Elevación:*
- *Situación legal del área del proyecto (compra, venta, concesión, expropiación, etc)*
- *Superficie requerida*
- *Descripción de accesos (terrestres, marítimos o aéreos).*
- *Colindancias del predio*

- *Actividades anexas*
- *Infraestructura necesaria (actual y futura)*
- *Capacidad del proyecto en MW (si es por etapas incluir fechas y capacidad)*

3.2 ACTIVIDADES DEL PROYECTO

Las actividades de los proyectos de generación de energía eléctrica por explotación geotérmica están presentados dentro de las cuatro fases más importantes de un proyecto en desarrollo:

- *Localización y preparación del sitio*
- *Construcción*
- *Operación y mantenimiento*
- *Actividades futuras y relacionadas*

Para servir como una herramienta en la descripción y evaluación de impactos ambientales de proyectos geotermoeléctricos se proporciona el siguiente listado que describe brevemente los impactos que produce cada actividad.

3.2.1 LOCALIZACION Y PREPARACION DEL SITIO

a. Análisis y selección del sitio

- *Afecta el uso potencial de los terrenos y los restringe para otros usos.*
- *El régimen de propiedad del terreno se verá afectado por el emplazamiento de la obra ya sea mediante compra, cesión, convenio o expropiación.*
- *Podrá modificar las perspectivas de la economía regional.*
- *Impactará al mercado de mano de obra de la zona, atrayendo fuerza de trabajo.*
- *Para la población, los cambios que se presentarán en la zona afectarán su estilo y calidad de vida.*

b. Campamentos

- *La construcción de campamentos para el proyecto representará infraestructura habitacional para la zona.*

c. Caminos de acceso

- *Modificará las características de drenaje y/o la variación de los escurrimientos superficiales.*
- *Directa o indirectamente a través de la explotación de bancos de materiales, esta actividad modificará las características de erosión.*
- *Afectarán especies y poblaciones de la vegetación terrestre.*
- *Se podrán afectar especies y poblaciones de animales de interés ecológico y comercial.*
- *Reforzarán en diferente medida la infraestructura caminera de la zona del proyecto.*

d. Limpieza del sitio

- *La remoción de vegetación normalmente modifica las características de erosión del área del proyecto, donde se ubican las plataformas modificando el habitat terrestre y comunidades allí establecidas.*

e. Equipo y materiales

- *El funcionamiento del equipo de construcción provocará ruido, en zonas donde anteriormente había silencio.*
- *El ruido del equipo será de alta intensidad durante la jornada de trabajo.*

f. Acondicionamiento del sitio para disposición de residuos

- *La construcción del sitio podrá modificar las características de erosión de la microzona, se deberá considerar un sitio para la disposición de vegetación y tierra removidas.*
- *Los desechos líquidos y lodos en la perforación, algunos conteniendo aditivos y lubricantes químicos y orgánicos, podrán afectar los terrenos vecinos en compatibilidad de usos del suelo como en la calidad del suelo.*

g. Generación de mano de obra

La generación de mano de obra por este tipo de proyecto, dependiendo de su magnitud, podrá impactar el mercado de trabajo de la zona, tendrá carácter principalmente temporal durante la construcción, causando desempleo al final de

ésta.

h. Medidas de mitigación

- *El establecimiento de políticas de adquisición (permutación, compra-expropiación) de los terrenos afectados, de tal manera que los propietarios de los terrenos no sean perjudicados.*
- *El emplazamiento de los campamentos que cuenten con los servicios necesarios y los sistemas adecuados de tratamientos y/o disposición de desechos líquidos y sólidos.*
- *Programa de retiro de instalaciones temporales para que no queden desechos en el lugar.*
- *Identificar sitios para bancos de material y modalidad de explotación acorde a sus características.*
- *Cuando existen alternativas de localización de la explotación geotérmica, deberá seleccionarse aquella donde se minimizan los daños al medio ambiente.*

3.2.2 CONSTRUCCION

a. Caminos de acceso

- *Podrán alterar los patrones y caudales de escurrimiento, podrán acelerar la erosión de algunas áreas y la zona se verá reforzada en su infraestructura caminera por la construcción de estos caminos de acceso.*

b. Perforaciones exploratorias

- *La extracción de masa hídrica del subsuelo con características termales y elevado contenido de sólidos disueltos (boro, arsénico, silicatos, azufre, sulfuros y selenio), dependiendo de la forma de su disposición, pueden alterar la calidad de cuerpos de agua superficiales, subterráneos o marinos.*
- *La extracción de agua y vapor del subsuelo pueden alterar el flujo de agua subterránea y sus interacciones con la superficie, así como la vegetación.*
- *El funcionamiento del equipo de perforación producirá ruido, afectando la fauna de la zona y poblaciones vecinas.*
- *La extracción de masas del subsuelo en algunas zonas y en el largo plazo, pueden*

alterar la estabilidad de los terrenos.

- *Las emisiones de gases sulfurosos y de bióxido de carbono entre otros, modificarán la calidad del aire, la visibilidad de la zona, podrán afectar el habitat terrestre y las comunidades por él sustentadas, las emanaciones de estos gases producirán mal olor en la zonas cercanas a las perforaciones.*
- *Si no se manejan adecuadamente las aguas residuales, pueden afectar las fuentes de abastecimiento público y dañar la salud de los habitantes, así como alterar las condiciones que soportan habitantes terrestres y acuáticos en el lugar y aguas abajo.*

c. Generación de mano de obra

La generación de mano de obra en esta fase, impactará en diferentes maneras el mercado de trabajo de la zona.

d. Instalación de equipo

- *La instalación de equipo silenciador disminuirá considerablemente los niveles de ruido.*
- *La instalación de equipo separador de agua y gases reducirá las emanaciones a la atmósfera y los consecuentes daños a la calidad del aire, mejorando la visibilidad.*
- *El control de las emisiones de gases, con la instalación del equipo, disminuirá considerablemente los malos olores.*

e. Conducción y disposición de desechos líquidos

- *Las líneas o canales para disposición de desechos líquidos pueden causar alteraciones a los patrones de escurrimiento.*
- *La disposición de los desechos líquidos del campo geotérmico en exploración puede dañar considerablemente la calidad del agua del cuerpo receptor superficial, subterráneo o marino.*
- *La disposición de desechos líquidos aplicados sobre terrenos pueden dañar la calidad de los suelos, particularmente en salinidad, contenido de boro y contenido de otras sustancias tóxicas, si es sobre terrenos agrícolas puede disminuir considerablemente su producción, puede afectar el habitat terrestre y las comunidades asociadas.*
- *La disposición de desechos líquidos a cuerpos de agua superficiales sin la dilución*

o tratamiento necesario puede modificar el habitat acuático y las comunidades en él sustentadas.

f. Transporte y disposición de desechos sólidos

- *Los residuos sólidos generados (lodos, tierras, etc.), si no son adecuadamente dispuestos, pueden afectar el uso potencial y la calidad del suelo.*

g. Acondicionamiento del sitio para disposición de residuos

- *En algunos casos se construyen lagunas o estanques de dimensiones considerables para almacenar residuos líquidos, su construcción puede llegar a afectar las características de erosión así como la compatibilidad de usos de suelo, su uso potencial y su calidad.*

h. Tendido de líneas

- *Indirectamente, el tendido de líneas o canaletas para disposición de aguas residuales pueden favorecer la calidad del agua.*
- *El tendido de líneas para conducción de energía eléctrica afecta el uso potencial y la tenencia de la tierra de la franja correspondiente, pueden representar un obstáculo al desplazamiento de determinadas especies de interés ecológico.*

i. Pruebas de equipo

- *El ambiente sonoro podrá verse afectado positivamente por los ajustes a silenciadores.*
- *Las pruebas de equipo podrán ayudar a reducir olores desagradables.*

j. Problemas técnicos en la construcción

Los problemas a presentarse pueden ser de muy diferentes tipos, algunos de ellos incluyen los siguientes impactos ambientales:

- *Alteraciones en la calidad del agua por derrames de desechos líquidos a los cuerpos receptores.*
- *Fallas en los silenciadores que pueden ocasionar incrementos en los niveles de ruido.*
- *Fallas en separadores que pueden incrementar emisiones de gases y vapores a la atmósfera, causando daños a habitats y comunidades terrestres y/o acuáticas por*

problemas de emisiones de gases o líquidos.

- *Aumento en olores desagradables.*
- *Deterioro en la apariencia del agua.*

k. Abandono de infraestructura

- *Si se considera técnica o económicamente no favorable la explotación del campo geotérmico, el abandono de la infraestructura, incluyendo el campamento, dañará la estética en lo referente a elementos de composición y posiblemente también dañará actividades recreativas, podrá significar una pérdida de empleos.*

l. Medidas de mitigación

- *La construcción de un sitio para almacenamiento y reuso de fluidos de perforación, evitará su dispersión al medio ambiente.*
- *Almacenar y/o disponer adecuadamente de desechos líquidos.*
- *Identificar sitios para bancos de material y la modalidad de explotación acorde a sus características.*
- *La ignorancia de la naturaleza y el valor de los aspectos estéticos o patrimoniales puede superarse mediante programas de educación ambiental dirigidos al personal que intervendrá en algunas de las etapas del proyecto.*
- *En las líneas de conducción, aprovechar los derechos de vía existentes o conjuntar los necesarios de crear y asegurar la mínima interferencia con los rasgos sobresalientes del paisaje natural, siguiendo las fronteras naturales.*
- *Programas de retiro de instalaciones temporales para que no queden desechos en el lugar.*

3.2.3 OPERACION Y MANTENIMIENTO

a. Generación de energía eléctrica

- *En esta actividad es donde se presentan los impactos de mayor significado y asociados con los desechos líquidos producidos.*
- *En la explotación de campos en donde predomina la fase agua, la generación de*

energía eléctrica producirá cantidades considerables de desechos líquidos de alta temperatura, alta salinidad y elevado contenido de diversas sustancias tóxicas como arsénico, mercurio y boro. Estos podrán dañar la calidad del agua del cuerpo receptor superficial, subterránea o marino, según sea el caso.

- *La extracción de masa del subsuelo puede alterar el flujo y la interacción con la superficie de las aguas subterráneas. Puede ocasionar problemas a la estabilidad del suelo, ocasiona la liberación de gases y vapores a la atmósfera, dañando la calidad del aire. Esto puede afectar a los cultivos y/o al medio natural que rodea al proyecto.*
- *En las inmediaciones de la explotación geotérmica se elevarán los niveles de ruido y más marcadamente en la planta generadora.*
- *De no tomarse las medidas técnicas adecuadas, la generación de energía geotérmica. Puede conllevar daños a habitats y comunidades terrestres y/o acuáticas.*
- *En los aspectos estéticos se pueden sentir olores desagradables y deterioro a la apariencia y sabor del agua.*
- *Los beneficios a la economía regional y/o nacional por la generación de energía eléctrica por este medio pueden ser muy significativos y en la documentación de la solicitud deberán estar cuantificados muy detalladamente.*
- *La generación de energía va a producir empleos directos en el desarrollo geotermoeléctrico, favorecerá la infraestructura y servicios regionales.*

b. Transmisión de energía eléctrica

- *Producirá beneficios significativos en la economía regional, así como en la infraestructura y servicios regionales, acercando la energía eléctrica a diversas comunidades por las que atraviesa la línea.*

c. Fallas en la operación

- *Pueden ocasionar derrames de desechos líquidos y deteriorar la calidad del agua superficial, subterránea o marina, según sea el caso.*
- *Las interrupciones en la generación de energía debidos a fallas en la operación tendrán repercusiones negativas en la economía regional, así como en los servicios regionales.*

d. Tratamiento de desechos líquidos

De tratarse los desechos líquidos, se mejorará la calidad del agua del cuerpo receptor (superficial, subterráneo o marino).

e. Conducción y disposición de desechos líquidos

- *Tratando los desechos líquidos se beneficiará la calidad del agua del cuerpo receptor superficial, subterráneo o marino.*
- *La disposición inadecuada de desechos líquidos puede causar severos daños a los habitats y comunidades acuáticas, también puede dañar actividades económicas regionales.*

f. Medidas de seguridad

- *Las medidas de seguridad que eviten accidentes inciden en forma positiva sobre la calidad del suelo, del agua y del aire, pueden incidir indirectamente a reducir niveles de ruido, pueden favorecer habitats y comunidades terrestres y/o acuáticos.*
- *Al prevenir accidentes las medidas de seguridad conservan la integridad física de la fuerza de trabajo durante la explotación geotérmica.*

g. Mantenimiento de equipos

- *Indirectamente el mantenimiento de equipos al evitar fallas y/o accidentes, ocasiona impactos benéficos a la calidad del suelo y a la calidad del aire, favorece la infraestructura y servicios regionales.*

h. Mantenimiento de línea de conducción

- *El mantenimiento de la línea de conducción de energía eléctrica favorecerá la conservación de la infraestructura y los servicios regionales.*

i. Monitoreo ambiental

- *Al detectar oportunamente posibles problemas y tomarse las medidas correctivas correspondientes, reportará beneficios a la calidad del agua (superficial, subterránea o marina), del suelo y del aire, también reportará beneficios a la economía regional, a la fuerza de trabajo y a la salud pública.*

j. Medidas de mitigación

1) Manejo de desechos líquidos según las siguientes alternativas:

- *Conducción de desechos a un sitio en donde no afecten significativamente la calidad del agua y las actividades relacionadas con ella.*
- *Reinyección de la masa líquida, buscando que no deteriore la capacidad productiva del mismo campo geotérmico.*
- *Tratamiento fisicoquímico de las aguas para remover los contaminantes problema y disposición de las aguas tratadas.*
- *Almacenamiento en extensas lagunas para propiciar su evaporación e infiltración, previo a un estudio de inafectabilidad de aguas subterráneas.*

2) *En los campos en donde predomina la fase de vapor, la disposición de los gases cuyo contaminante principal es el H₂S puede resolverse con dispersión a gran altura cuando su contenido es bajo o mediante conversión a sulfatos o azufre, cuando su contenido es elevado o cuando existan estrictos estándares de calidad de aire.*

3) *Es indispensable el establecimiento de un programa de monitoreo ambiental, particularmente en lo que se refiere a la calidad del agua para detectar oportunamente posibles efectos adversos y tomar a tiempo las medidas correctivas.*

4) *Crear instrumentos, jurídico-administrativos que permitan la preservación de los valores estéticos o patrimoniales, y/o la protección de áreas que el proyecto induzca una inadecuada explotación.*

3.2.4 ACTIVIDADES FUTURAS Y RELACIONADAS

a. Abandono de infraestructura:

- *Modificará el uso potencial del suelo, tanto en el terreno de la explotación como los circundantes, podrá causar daños a la calidad del suelo.*
- *La infraestructura abandonada deteriora los elementos de composición paisajística de la zona, afecta las características de tenencia de la tierra.*
- *El abandono de la generación de energía eléctrica repercutirá negativamente en la economía regional y en la infraestructura y servicios regionales, a menos que*

existan fuentes de generación de energía eléctrica más adecuadas, esto dejará desempleo y conllevará al traslado de la gran mayoría de los trabajadores del desarrollo geotermoeléctrico.

b. Rehabilitación y uso de infraestructura:

- *Afectará el uso potencial del suelo como su calidad.*
- *Si se rehabilita la zona el daño a la composición paisajística será mitigado.*
- *Si la infraestructura se rehabilita los daños a la economía regional, a la infraestructura y al empleo y mano de obra, serán mitigados, pero permanecerán impactos residuales.*

4. FACTORES Y ATRIBUTOS AMBIENTALES

Los factores y atributos ambientales con lo que están normalmente relacionados los proyectos de Generación de Energía Eléctrica mediante Explotación Geotérmica pertenecen a las siguientes áreas.

- *Area físico-química*
- *Area ecológica*
- *Area estética*
- *Area socioeconómica*

Dentro del procedimiento de planificación para introducir la componente ambiental en este tipo de proyectos, es la presentación, por el proponente del mismo, del cribado ambiental, como insumo al proceso de su elegibilidad para su construcción.

Esta información debe presentarse preparando el cribado ambiental, que para este caso se ha considerado utilizar como guía la matriz de cribado ambiental exigida por el Banco Centroamericano de Integración Económica -BCIE- para proyectos geotermoeléctricos, como parte del estudio de factibilidad (Fig. 4.1). Esta evaluación debe realizarse durante los estudios básicos del proyecto, con el propósito de intervenir oportunamente en la toma de decisiones sobre la implementación de la alternativa más adecuada.

El análisis de las interacciones del proyecto en las diferentes áreas, efectuado con el uso de la matriz de cribado ambiental, permitirá identificar en las fases preliminares, cuando aún no se han tomado decisiones irrevocables, todas las posibles áreas donde puedan preverse impactos adversos. Con base en lo anterior, el dictamen que se derive del análisis y evaluación, establecerá las bases para la implementación condicionada o rechazo del proyecto.

La matriz del cribado ambiental proporciona los elementos de juicio para identificar y determinar inicialmente el significado de los impactos ambientales con suficiente información. La matriz por sí sola no permite apreciar claramente las características de los impactos identificados, es por lo tanto indispensable analizar los resultados y dar conclusiones sobre las líneas de acción que puedan derivarse para la protección ambiental o para un estudio.

La matriz de cribado (Fig. 4.1) contiene por una parte las actividades típicas de un proyecto geotermoeléctrico descritos en el Capítulo 3 y por la otra, los factores o atributos ambientales con los que éstas están normalmente relacionadas.

4.1 EFECTOS FISICO-QUIMICOS

4.1.1 AGUA SUPERFICIAL

El agua dulce que utilizamos proviene de dos fuentes, agua superficial y agua subterránea. La precipitación que no se infiltra en el suelo o que regresa a la atmósfera, por evaporización o transpiración, se conoce como agua superficial. Esta es el agua dulce que se encuentra sobre la superficie de la tierra en ríos, lagos, pantanos y embalses o depósitos artificiales. Las cuencas hidrológicas o colectoras, también denominadas cuencas de captación, son aquellas áreas de tierra que captan y llevan el agua de escurrimiento hasta las masas de agua superficial.

El agua que fluye por la superficie de tierra hasta los cuerpos o masas de agua en la superficie se le conoce como escurrimiento superficial, y al agua que fluye por los ríos hasta al mar u océano se le denomina escurrimiento fluvial. Un 69% del agua que llega a los ríos en todo el planeta proviene de la lluvia y de la nieve derretida en las cuencas y el agua restante proviene de descarga de agua subterránea. Las cuencas fluviales, alimentadas en gran parte por la lluvia, ocupan el 60% del área de tierra firme y sustentan al 90% de la población mundial.

La deforestación puede causar cambios significativos en los patrones estacionales de los escurrimientos fluviales. Esto puede dar por resultado mayores tasas de escurrimiento superficial e inundaciones en temporada de lluvias, así como una gran posibilidad de ríos sin agua en temporada seca.

a. Características del fondo y de los bordos:

Esta se refiere a los cauces naturales de las aguas superficiales o a la morfología de los lagos o vasos de almacenamiento.

b. Características de drenaje:

Toma en cuenta la dirección, pendiente, velocidad y distribución en el tiempo del escurrimiento del agua de lluvia sobre la superficie del suelo y llega al cauce después de su aparición en forma de lluvia, este escurrimiento puede ser inmediato o retardado.

c. Variación del flujo:

Se basa en cambios del caudal de la corriente. La velocidad del flujo y la descarga total son importantes para los organismos y usos actuales y potenciales del agua. Su determinación tiene que incluir un análisis de la información que exista en el área del proyecto en relación a los caudales máximos y mínimos diarios, también

la rapidez de los cambios de caudales máximos y mínimos y viceversa.

d. Calidad del agua superficial:

Toma en consideración sus características físicas, químicas y biológicas, es importante para la vida acuática y los usos benéficos del agua, tanto actuales como potenciales. Para poder evaluarla se consideran varios parámetros físicos, químicos y biológicos tales como: Ph, temperatura, turbiedad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, fósforo inorgánico, nitrógeno orgánico, sulfatos, hierro, manganeso, alcalinidad, dureza, sustancias tóxicas y coliformes fecales. La selección de los parámetros dependerá del tipo de proyecto, localización, las comunidades acuáticas y usos actuales y potenciales del agua.

4.1.2 AGUA SUBTERRANEA

Parte de la precipitación se infiltra en el suelo y llena los poros (hendiduras o grietas) que hay en el suelo y rocas de la corteza terrestre. El área bajo tierra en donde todo el suelo y roca disponible están llenos de agua, se denomina zona de saturación y el agua en estos poros se le conoce como agua subterránea.

El nivel del agua freática es la superficie superior de la zona de saturación. Es la línea divisoria entre suelo y roca saturada.

Hay 40 veces más de agua subterránea bajo la superficie terrestre que en las corrientes de agua y lagos de todo el mundo, sin embargo, tal agua está distribuida de manera desigual y sólo una cantidad de ella es económicamente explotable. La extracción de agua subterránea profunda, con mayor rapidez de aquella con la que se recarga en el ciclo hidrológico, consume las existencias líquidas potencialmente renovables de la tierra.

La capacidad del suelo o roca para retener agua depende de su porosidad y permeabilidad. Las capas porosas y saturadas con agua, de arena, grava o lecho de roca, y que pueden rendir una cantidad de agua económicamente significativa se conocen como mantos acuíferos.

La dirección del flujo de agua subterránea de las áreas de recarga a las de descarga, depende de la gravedad, presión y fricción. Normalmente, el agua subterránea se desplaza desde puntos de mayor elevación y presión, a puntos de menor elevación y presión. Este movimiento es muy lento, típicamente sólo como un metro al año y rara vez más de 0.3 m al día. Por esto, la mayor parte de los mantos freáticos son como lagos subterráneos enormes, de lento movimiento.

a. Alteraciones en el flujo:

El agua subterránea como se dijo anteriormente proviene del agua meteórica filtrada. Las alteraciones del flujo pueden ser debidas a extracciones por medio de pozos o modificaciones en la recarga y afectarán normalmente el nivel del agua subterránea o nivel freático, dependiendo de las características de la porosidad y permeabilidad del suelo.

b. Interacciones con la superficie:

Se refiere a la influencia recíproca de las aguas superficiales y subterráneas, ya que la mayor parte de los acuíferos se vuelven a llenar de manera natural por la precipitación que se infiltra por suelo y roca y es lo que se conoce como recarga natural. Cualquier área de tierra que deja pasar el agua hasta que ésta llega a un manto freático se denomina área de recarga. El agua subterránea va desde el área de recarga atraviesa un manto freático y llega a un área de descarga, como parte del ciclo hidrológico. Las áreas de descarga pueden ser pozos, manantiales y ojos de agua, lagos, géiseres, corrientes fluviales, mares u océanos.

Si la tasa de extracción de un acuífero supera su tasa de recarga natural, baja el nivel del agua freática alrededor del pozo en explotación, creando un volumen carente de agua al que se le conoce como de depresión del nivel de agua freática, cualquier contaminante que se descargue en el área de tierra por arriba del cono de depresión, será atraído directamente hacia el pozo y puede tener un efecto devastador sobre la calidad de agua que se extrae del pozo.

C. Calidad del agua subterránea:

Al igual que en el agua superficial se refiere a las características físicas, químicas y biológicas, es importante para las posibles interacciones con el subsuelo y los usos actuales y potenciales de este recurso. Los parámetros usados para su evaluación son los mismos que en el agua superficial, y también dependen del tipo de proyecto, su localización, la estratigrafía y los usos actuales y potenciales del cuerpo de agua.

4.1.3 AGUA MARINA

a. Fondo marino:

Se refiere a la topografía del fondo de la zona marina litoral que está relacionada con el proyecto en cuestión.

b. Calidad del agua marina:

Es de importancia para las interacciones con las comunidades acuáticas y los usos actuales y potenciales de este recurso.

Los parámetros usados en su evaluación son los usados en el agua superficial y agua subterránea, la selección de estos parámetros dependerá del tipo de proyecto, las comunidades marinas relevantes de la zona y los usos actuales y potenciales.

4.1.4 AMBIENTE SONORO

a. Ruido:

El ruido es un sonido indeseable o un sonido en el lugar equivocado. Afecta a los seres humanos, la tierra, estructuras, la vegetación y los animales. La evaluación del ruido debe incluir: intensidad, duración y repetibilidad. La intensidad es medida en decibeles (dB).

Es importante controlar el ruido en una explotación de los recursos geotérmicos para asegurar tanto la salud como la seguridad de los trabajadores y la aceptación de la comunidad.

Los orígenes de los ruidos asociados generalmente con la explotación pueden ser de acuerdo a la siguiente tabla:

ORIGENES DEL RUIDO ASOCIADO CON LA EXPLOTACION GEOTERMICA

ACTIVIDAD	NIVEL TIPICO DE SONIDO A 30 M DEL CENTRO GEOMETRICO DE LA FUENTE dB
<i>Preparación del sitio/construcción de caminos</i>	<i>Variable, en función de la maquinaria utilizada</i>
<i>Perforación de pozos geotérmicos</i>	<i>Entre 80 y 85 a 30 m de las maquinarias diesel</i>
<i>Pozo geotérmico sin silenciador</i>	120
<i>Pozo geotérmico con silenciador de ciclón</i>	85
<i>Construcción de instalaciones</i>	<i>Variable</i>
<i>Operación de Unidad generadora:</i> <i>- Construcción de turbina/generador</i>	60-70
<i>- Eyector de gas con respiradero de vapor</i>	90-110
<i>Torre de enfriamiento</i>	70-75

Los valores indicados se basan en mediciones con equipos típicos, pero son apenas indicativos y pueden ser muy distintos de un sitio a otro, dependiendo de los equipos utilizados.

4.1.5 SUELO

a. **Erosión:**

Es un proceso por medio del cual las partículas que forman el suelo son separadas y transportadas a otros lugares debido a la acción del agua y aire.

La erosión se puede acelerar como consecuencia de cambios en el uso del suelo y de la cubierta vegetal. La erosión tiene consecuencias negativas como quitar al suelo sus capas productivas y aumentar procesos de azolvamiento en corrientes, lagos y presas.

La erosión de un suelo es medida en función del suelo perdido por unidad de área y por unidad de tiempo.

b. Uso del área inundable:

Se refiere a la utilización de zonas que presentan cobertura de agua en forma temporal.

c. Uso potencial del suelo:

Este término se refiere a las actividades que adecuadamente se le den al suelo de acuerdo a sus características. Existen seis tipos básicos de suelo: industrial, comercial, residencial, agrícola, bosque manejado y natural.

d. Compatibilidad de usos del suelo:

Es importante para conservar la calidad ambiental y la realización de varias actividades naturales y humanas en el perímetro del lugar del proyecto, por lo que se debe tener en cuenta los usos actuales del suelo y los posibles efectos del proyecto en el patrón de usos del suelo en la periferia.

e. Calidad del suelo:

Se refiere a la textura, color, permeabilidad, Ph, contenido orgánico y contenido inorgánico del suelo.

f. Asentamiento y compactación:

Estas características del suelo afectan los procesos de transferencia de líquidos y gases necesarios para el ciclo hidrológico y la sustentación de la vegetación y pueden llegar a influir en la topografía de la zona.

En la explotación de la Energía geotérmica, son dos los factores principales que influyen en un posible asentamiento:

- *El diseño y la operación del campo geotérmico en cuanto afecten la distribución y la calidad de los fluidos extraídos o inyectados.*
- *La estructura geológica del sitio y las características geohidráulicas.*

g. Estabilidad:

Considera las propiedades mecánicas del suelo que determinan la permanencia del suelo y los probables cambios cuando se aplican cargas y esfuerzos.

h. Sismicidad:

Significa la sensibilidad de una zona a fenómenos sísmicos, implicando la frecuencia de los movimientos telúricos y la intensidad de los mismos.

Los recursos geotérmicos están localizados por lo general en áreas de alto flujo de calor a lo largo de zonas crustales débiles. Por lo tanto, las áreas de actividad geotérmica tienen también una alta probabilidad de ser sísmicamente activas.

i. Características geomorfológicas:

Se refiere a las formas del terreno o relieve que da lugar a valles, colinas montañosas, barrancas, cañones, provocados por los procesos geológicos.

4.1.6 AIRE

a. Calidad del aire:

Está referido principalmente a características físicas y químicas del aire, entre las que se incluyen contenido de material particulado y de diversas sustancias como monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y compuestos de azufre.

b. Clima:

Es el conjunto de caracteres atmosféricos que distinguen a la región, y es considerado el factor principal para la existencia de varios tipos de vegetación y de fauna asociada.

Las características climáticas principales a considerarse son insolación promedio anual, temperatura promedio, máxima y mínima extremas, vientos, (velocidad y dirección dominante), evaporación, altura de la base de la capa de inversión, humedad relativa, precipitación e intemperismos severos.

c. Visibilidad:

Se refiere a la transparencia del aire y está relacionada con la cantidad y tipo de material particulado en la atmósfera.

4.2 EFECTOS ECOLOGICOS

Se refiere al estudio de cómo interactúan los organismos (cualquier forma de

vida) entre sí y con su ambiente no vivo, de energía y materia. Los científicos generalmente realizan este estudio examinando diferentes ecosistemas, es decir comunidades con grupos de especies diferentes que interactúan entre sí y con su ambiente no vivo físico y químico mencionados en la sección 4.1, el cual puede ser alterado artificialmente por el hombre durante el desarrollo de un proyecto geotermoeléctrico.

4.2.1 ESPECIES Y POBLACIONES TERRESTRES

Son todos los organismos de cualquier clase (plantas, animales y microorganismos), que habitan en forma individual o en grupo, formando un todo unificado de interacción e interdependencia (sistema) en un medio terrestre.

a. **Vegetación terrestre: (Especies y Poblaciones)**

Se refiere a aquellas poblaciones de vegetación terrestre, que acentúan su sobrevivencia y crecimiento bajo varias condiciones ambientales. Tres tipos principales de vegetación terrestre son los árboles, arbustos y pastos.

b. **Fauna de interés ecológico:**

Se refiere a las poblaciones faunísticas que desempeñen una importante función ecológica o se encuentren en peligro de extinción.

c. **Fauna de interés económico:**

Considera aquellas poblaciones de fauna que sirvan para explotación masiva (ganadería), cinegética (caza) o que contrariamente sean consideradas como una plaga.

4.2.2 ESPECIES Y POBLACIONES ACUATICAS

Son todos los organismos de cualquier clase (planta, animales y microorganismos) que habitan en forma individual o en grupo, formando un todo unificado de interacción o interdependencia (sistema) en un medio acuático.

a. **Vegetación acuática: (Especies y Poblaciones)**

Se refiere a las poblaciones de vegetación acuática, ya sean fitoplanctónicas o vasculares, estas últimas pueden ser sumergidas, marginales, emergentes o flotantes.

b. Fauna acuática de interés ecológico:

Está referida a poblaciones de fauna acuática de especies endémicas que realicen una importante función ecológica o se encuentren en peligro de extinción.

c. Fauna acuática de interés económico:

Considera aquellas poblaciones de fauna acuática utilizadas en acuicultura, pesca comercial y pesca deportiva que estén consideradas como una plaga a la actividad económica.

4.2.3 HABITATS Y COMUNIDADES TERRESTRES

Es el medio terrestre en el cual vive una planta o un animal en una área determinada, formando comunidades compuestas de diferentes poblaciones o grupos de organismos o especies.

a. Habitats terrestres:

Son las características medioambientales que condicionan el desarrollo de las comunidades terrestres, existen tres tipos: Bosque Alto, bosque bajo y tierras abiertas.

b. Comunidades terrestres:

Son todos los organismos de varias especies que habitan en un área o región terrestre determinada, está compuesta de plantas, animales y microorganismos.

4.2.4 HABITATS Y COMUNIDADES ACUATICAS

Es el medio acuático en el cual vive una planta o un animal en una área determinada formando comunidades compuestas de diferentes poblaciones o grupos de organismos o especies.

a. Habitats acuáticos:

Son las características medioambientales que condicionan el desarrollo de las comunidades acuáticas, existen seis tipos: corriente, lago de agua dulce, pantano, acuario, laguna litoral y marino.

b. Comunidades acuáticas:

Son todos los organismos de diversas especies que habitan en un área o región

acuática determinada, incluye: fitoplancton, zooplancton, necton y bentos.

4.3 EFECTOS ESTETICOS

Considera la apreciación que del medio ambiente tengan los habitantes de la zona en donde se realizará el proyecto.

Para este efecto deben identificarse y evaluarse las características físicas de cada sub-zona del proyecto desde el punto de vista de su valor paisajístico, relacionándolas después con las características de la planta de energía propuesta y las instalaciones asociadas.

a. *Relieve y características topográficas:*

Es la apreciación de la topografía de la zona por parte de los habitantes.

b. *Apariencia del agua:*

Es el aspecto que presente el agua, en el cual influye el color, la turbiedad, espuma, presencia de sedimentos, masas de algas, masas de grasas y aceites.

c. *Interfase tierra-agua:*

Se refiere al aspecto de las orillas y fondo de los cuerpos de agua, debido a la presencia de materiales extraños y/o plantas acuáticas.

d. *Apariencia del aire:*

Considera la transparencia, color y presencia de partículas y vapores.

e. *Olor:*

Se refiere al olor característico o a la perturbación con olores desagradables o molestos.

f. *Elementos de composición:*

Se refiere a los elementos de composición paisajística como: vegetación, cuerpos de agua, montañas, colinas, etc.

g. Composición única:

Se tendrá que hacer una evaluación para ver si la zona no presenta características paisajísticas únicas, por la presencia de algún elemento paisajístico excepcional como: un árbol muy antiguo, una veta mineral excepcional, una playa, una caída de agua, etc.

4.4 EFECTOS SOCIOECONOMICOS

Los impactos sobre la economía y la sociedad dependen de las características socioeconómicas del área a ser explotada y de la actitud de la gente hacia la actividad geotérmica.

Un conocimiento previo de las características socioeconómicas del área, niveles de educación y salud, enfermedades endémicas y comunes del área, servicios públicos existentes, producción económica, turismo, etc. es básico para cuantificar o pronosticar los cambios a generar por el proyecto, e impacto que causará de acuerdo a lo siguiente:

a. Tenencia de la tierra:

Se refiere a la modalidad de tenencia de la tierra: propiedad privada de pequeña, mediana o gran extensión, propiedad pública, propiedad comunal, concesiones, etc.

b. Economía regional:

Está referida a los sectores agrícola, ganadero, forestal, industrial, comercial y de servicios. Niveles de ingreso, distribución del ingreso, ingreso no monetario, poder de compra.

c. Empleo y mano de obra:

Toma en cuenta las características del mercado de trabajo, nivel de empleo, empleo por rama de actividad, desempeño, mano de obra calificada y no calificada.

d. Infraestructura y servicios regionales:

Son indispensables para el desarrollo socioeconómico e incluyen: caminos, transporte, electricidad, teléfono, agua, telégrafos y educación.

e. **Salud pública:**

Considera las características de salud imperantes en la zona, en relación a parámetros como enfermedades de la zona, características epidemiológicas, tasa de mortalidad y morbilidad, etc.

f. **Educación:**

Se refiere a niveles de educación de la población, centros educacionales y los niveles que comprenden.

g. **Estilo y calidad de vida:**

El estilo comprende la forma o patrones de vida de una determinada comunidad, la calidad se refiere a los niveles de vida alcanzados por una comunidad, medidos con indicadores de tipo objetivo como: niveles de alimentación, de consumo, de servicios, de educación, salud, porcentajes de vivienda con servicios, niveles de contaminación ambiental, etc. En referencia a los parámetros establecidos como aceptables a nivel internacional y relacionados a las sociedades calificadas como desarrolladas o de economía avanzada.

h. **Recreación:**

Toma en cuenta las actividades de esparcimiento de los habitantes de la zona o visitantes (paseos, excursionismo, pesca, deportes, caminatas, etc.)

i. **Áreas de interés científico, cultural y/o patrimonial:**

Son áreas que contienen características especiales Por ejemplo: zonas arqueológicas, santuarios religiosos, zonas con yacimientos minerales de interés económico y/o científico, etc.

5. PROCEDIMIENTO DE EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL PARA UN PROYECTO GEOTERMEOLECTRICO.

5.1 PROYECTO IDENTIFICADO SUJETO A ELEGIBILIDAD

La identificación del proyecto de acuerdo a estudios preliminares, puede ser efectuada tanto por el estado, como por alguna empresa de la iniciativa privada y es en esta etapa cuando se recomienda examinar si existe o puede obtenerse una buena base de datos para analizar con suficiente juicio la matriz de cribado ambiental (Fig. 4.1).

Con el cribado ambiental se pretende proporcionar en las etapas tempranas del proyecto la identificación y determinación del significado de los impactos ambientales, así como permitir la interacción de aspectos ambientales con la elaboración del proyecto.

Del cribado ambiental se pueden derivar los siguientes posibles resultados:

- 1. No se detectan posibles impactos adversos, el proyecto puede seguir sin cambio, por lo tanto no será necesario realizar un análisis posterior en materia ambiental.*
- 2. Existen posibles efectos adversos y se requiere identificar medidas factibles de mitigación.*
- 3. No se conoce la naturaleza ni la cobertura de los posibles impactos, se requiere un análisis más detallado, posiblemente con base en una recopilación bibliográfica más extensa y/o trabajo de campo.*
- 4. Existen efectos ambientales adversos significativos y se requiere una evaluación formal.*

5.2 PROYECTO ELEGIBLE SUJETO A ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Salvo en el primer caso mencionado con anterioridad, en esta etapa basándose en las conclusiones del cribado ambiental realizado conforme a lo estipulado en el Capítulo 4, se procederá a elaborar la guía de evaluación de impacto ambiental específica para el proyecto en cuestión, para efectuar el estudio de Factibilidad.

5.3 PROYECTO FACTIBLE SUJETO A ANALISIS

En esta etapa ya la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) hará la evaluación y dictamen del estudio de impacto ambiental del proyecto en cuestión, basándose en la información proporcionada por el proponente del proyecto, así como de cualquier otra que considere útil y relevante.

El dictamen puede ser:

- 1. Favorable de acuerdo a las propuestas señaladas en el estudio de evaluación de impacto ambiental.*
- 2. Favorable con consideraciones y recomendaciones adicionales.*
- 3. Desfavorable desde el punto de vista ambiental.*

Para el tercer caso se sugiere que el analista ambiental de CONAMA participe en una reunión con el proponente del proyecto para que exponga y aclare las razones que lo motivaron en el dictamen ambiental.

5.4 PROYECTO EN EJECUCION

En esta etapa se requiere que el departamento de supervisión de proyectos de CONAMA, de acuerdo a los lineamientos establecidos en el estudio de evaluación de impacto ambiental y dictamen sobre el mismo, con la información proporcionada por el Proponente del Proyecto y ejecutor a través del monitoreo ambiental, incluya criterios ambientales en su labor de supervisión del mismo.

6. EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL EN PROYECTOS GEOTERMoeLECTRICOS EN OPERACION

6.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Se tendrá que describir el proyecto tomando en cuenta sus alternativas con el objeto de determinar su naturaleza, magnitud, características generales y las necesidades que se quieren satisfacer, así como las obras previstas y las acciones o procedimientos que se seguirán desde la planeación, preparación del sitio, construcción y vida útil del mismo, así como los planes futuros de expansión.

Esta descripción permitirá predecir los impactos que podrán afectar a determinados factores ambientales, y hace posible diseñar las obras y programar las acciones del proyecto de manera que sean compatibles con el ambiente, así también establecer las políticas y estrategias ambientales aplicables al proyecto. (Fig. 6.1)

a) Declaración:

El proponente del proyecto se hará responsable por escrito de las declaraciones que se hagan en la evaluación de impacto ambiental (EIA), asimismo, deberá identificar a las personas o consultores que hayan hecho o analizado el estudio.

b) Objetivo del proyecto:

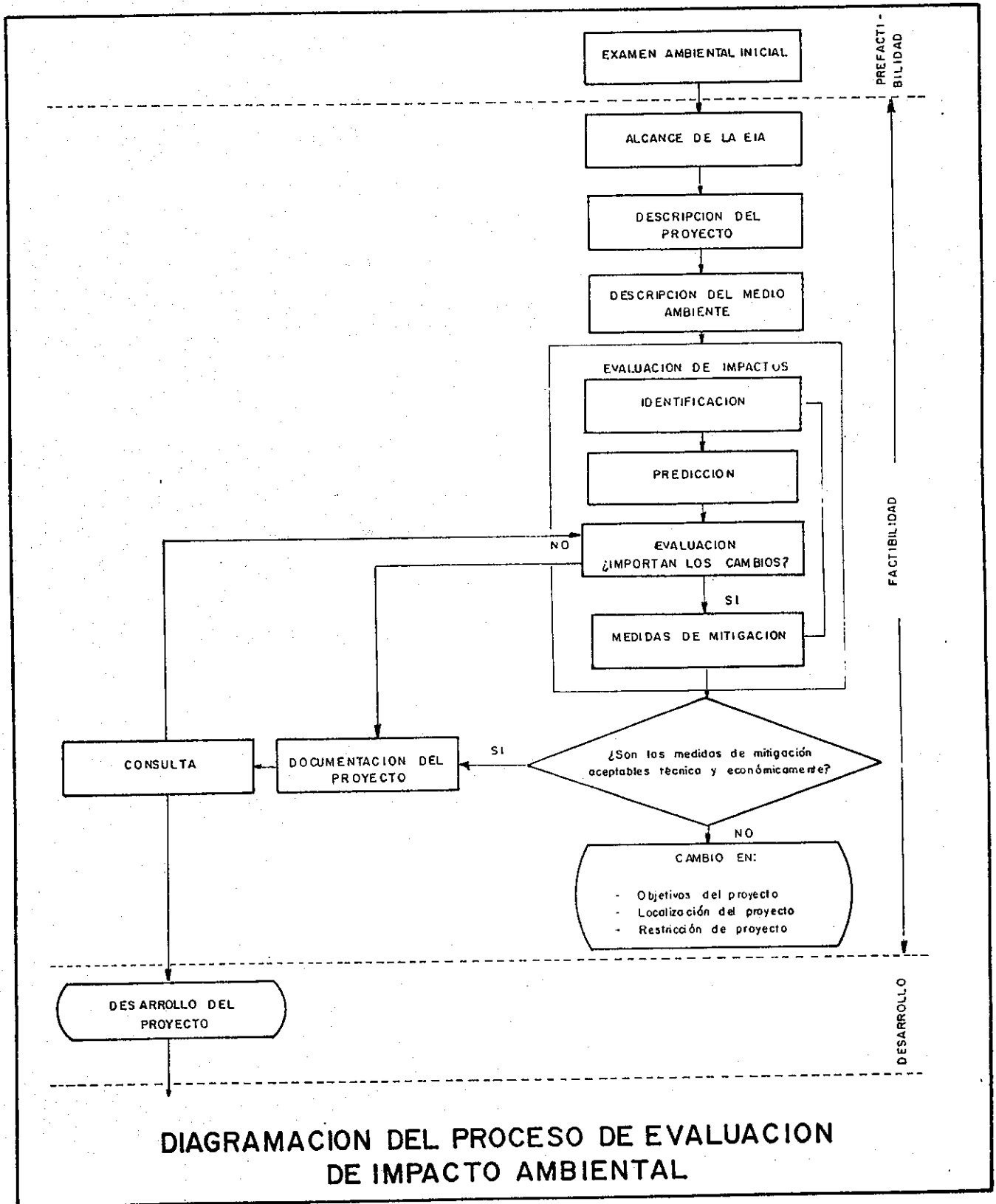
El proponente del proyecto debe precisar con claridad los objetivos que se pretenden lograr con el desarrollo del proyecto y serán sometidos a juicio de las autoridades competentes quien los aprobará o modificará.

c) Justificación del proyecto:

Se explicará si el proyecto reemplaza o aumenta la capacidad existente, o si es un nuevo desarrollo en un lugar en donde no existía anteriormente.

d) Alternativas:

Debe proporcionarse una descripción detallada de las alternativas consideradas para permitir al revisor, evaluar de una forma comparativa los beneficios y perjuicios en términos de factores ambientales y socioeconómicos.



Deberán considerarse como elementos importantes de las alternativas propuestas los distintos sitios de localización, ampliación de desarrollos existentes, diferentes métodos de proceso o aprovechamiento y la cancelación del proyecto.

e) Proyectos asociados:

Se establecerá la relación del plan o proyecto con otros que se desarrollan (presentes y futuros) fuera de la jurisdicción de éste y que estén íntimamente ligados con el mismo (por ejemplo el tendido de líneas para conducción de energía eléctrica).

f) Selección del lugar y su área de influencia:

El proponente del proyecto deberá delimitar y describir de manera precisa el área seleccionada para desarrollar el plan o proyecto y fundamentar los criterios seguidos para definir su ubicación, así como los elementos fundamentales que coparticipan en la integración del área de influencia.

g) Descripción del proyecto desde la etapa de planeación, construcción, operación, mantenimiento y vida útil del mismo

Tiene por objeto contar con la información que permita conocer su naturaleza y características generales, así como las obras a realizar y las acciones o procedimientos seguidos durante su construcción, operación y mantenimiento.

Permite conocer el término de la vida útil de las instalaciones y posibilita la predicción de los impactos que serán ocasionados sobre determinados factores del medio ambiente.

h) Características generales del proyecto:

- Tipo de proyecto
- Justificaciones
- Ubicación
- Superficie
- Usos del suelo aledaño al área del proyecto
- Compatibilidad del proyecto con los usos del suelo de terrenos colindantes
- Relación directa o indirecta con otras actividades en la zona
- Programa de trabajo

i) Estudios preliminares de campo:

Los estudios preliminares se realizarán en el área seleccionada para el proyecto con el fin de obtener datos indicadores que ayuden a determinar su factibilidad técnica y económica, así como su diseño definitivo y deberán describir:

- *Tipos de estudios e investigaciones de campo, con su intensidad y duración, (calendarización de actividades).*
- *Obras y Servicios de apoyo*
- *Preparación del área*

j) *Etapa de preparación del sitio y construcción:*

Las actividades de esta etapa comprenden desde la preparación del sitio hasta antes que se inicie la operación y en ella se describirán en forma clara y sencilla las obras, procedimientos, tecnología y utilización de los recursos.

k) *Operación y mantenimiento:*

Se debe hacer un programa de operación y mantenimiento con políticas de contratación de personal y se deberá estimar los niveles de generación de energía.

l) *Abandono de la estructura o base del proyecto y término de su vida útil:*

Al realizarse el abandono del proyecto, por terminación de su vida útil, deberá haberse definido el destino tanto de las obras provisionales como de los caminos de acceso, puentes, campamentos, etc. así también los bancos de material.

El término de vida útil se refiere al destino que se va a dar al sitio y a la infraestructura creada cuando deje de ser funcional y útil.

6.2 DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO AMBIENTAL ANTES DE LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO

a) *Consideraciones generales:*

Esta descripción se efectuará en aquellos casos en que no se haya presentado el cribado ambiental o en los que de acuerdo al grupo revisor se requiera enfatizar y profundizar en ciertos aspectos.

La preparación de la evaluación de impacto ambiental, requiere de la descripción detallada de las condiciones del ambiente anteriores a la implementación del proyecto y de su predicción aunque éste no se llegue a realizar, siendo necesario definir el sitio donde se ubicará y el área que puede ser afectada por las acciones previstas en el proyecto, lo cual implica que cada factor ambiental tendrá su propia área física de influencia, los factores ambientales que se consideran son: aire, agua, clima, geología, suelo, flora, fauna y hombre.

Es necesario seleccionar los parámetros que se van a utilizar para describir cada factor ambiental en función de las características del sitio y del proyecto.

Al prepararse la descripción del ambiente es importante considerar que:

- *Se debe conocer mediante parámetros indicadores las características físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas del área de influencia del proyecto, para inferir probables alteraciones que éstas sufrirán.*
- *Para estimar los impactos netos que se generarían por las acciones previstas en el proyecto, es necesario hacer una predicción con fines comparativos de las características del ambiente a cinco y diez años, aún considerando que el mismo no se lleve a cabo.*

b) Medio natural:

La importancia de cada uno de los factores para la zona del proyecto, así como su área de influencia, determinarán la amplitud y profundidad que debe tener su descripción.

c) Aire:

Deberá de considerarse desde dos puntos de vista diferentes:

- *Como receptor y transportador de productos desechables de la actividad a realizarse.*
- *Como un factor cuya calidad ejerce influencia directa sobre los seres vivos, bienes materiales y actividades humanas.*

En ambos casos debe contarse con datos sobre vientos e información sobre factores limitantes de la dispersión y frecuencia de inversión de temperatura, con el fin de preveer hacia dónde se difundirán los contaminantes y la duración de su permanencia en el aire.

d) Clima:

Es el conjunto de caracteres atmosféricos que distinguen a una región, la importancia de describir el clima se puede determinar desde los siguientes puntos de vista:

- *Varios de sus elementos pueden ser cambiados al desaparecer extensas áreas de vegetación.*
- *Es un agente que puede producir procesos como erosión, azolve, inversiones*

de temperatura, inundaciones, etc., a causa de alteraciones en el suelo, la vegetación, los cuerpos de agua, etc.

- *Es un factor limitante para la construcción y operación de una obra.*
- *Por la importancia de sus relaciones con los demás factores ambientales.*

e) Agua:

Cualquier cambio en su calidad o cantidad y distribución pueden afectar a uno o varios de los usos que se le dan, básicamente deben considerarse los siguientes aspectos:

- *Alteraciones potenciales en la calidad de los cuerpos de agua*
- *Alteraciones potenciales en su cantidad y distribución*
- *Potencialidades en sus usos*
- *Importancia de sus relaciones con otros factores ambientales*

Se incluirá en la descripción, un plano a escala adecuada de la localización de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos y también se recopilará la información sobre el uso actual de cada cuerpo de agua y su calidad.

Cuando han sido localizados los cuerpos de agua de la zona se procede a su clasificación de acuerdo a sus características en: corrientes superficiales y subterráneas, lagos, estuarios, embalses y el océano, también se deberá considerar su hidrología e hidrografía.

f) Geología:

Se describirán las características geológicas de la zona de estudio y su área de influencia, considerando los requerimientos esenciales siguientes:

- *Geología descriptiva*
- *Información de campo*
- *Material gráfico*

g) Suelo:

Es uno de los factores más importantes del ambiente por ser sustentante de toda la forma de vida terrestre. Cada suelo posee propiedades que son determinadas por clima, relieve, vegetación y organismos vivientes que realizan sus funciones intercambiando materiales con él.

La importancia para describir el suelo se puede determinar desde los siguientes puntos de vista:

- *Posibilidad de causarle degradación*
- *Contaminación*
- *Mal uso*
- *Posibilidad de habilitación o rehabilitación*
- *Importancia de sus relaciones con otros factores ambientales*

Para describir al suelo deberá proporcionarse la siguiente información:

- *Clasificación de suelos*
- *Porosidad, color, textura, pH, contenido de materia orgánica, contenido de sales, estructura, perfiles.*
- *Uso actual y potencial*
- *Coeficientes de erosión y de erodabilidad*

h) Oceanografía:

Cuando los proyectos se construyan en zonas costeras que se podrían ver afectadas, se deben considerar estudios oceanográficos que incluyan los siguientes factores:

- *Oceanografía física*
- *Oceanografía geológica*

i) Flora y fauna

Los estudios ecológicos comprenden dos aspectos interrelacionados:

- *Los factores abióticos (Agua, suelo, aire, etc.)*
- *Los factores bióticos (flora y fauna)*

Dichos factores determinan las características de los ecosistemas.

Se deberá exponer claramente la metodología de campo empleada para la obtención y análisis de la información, la información obtenida deberá interpretarse cuantitativamente (gráficas, modelos matemáticos, etc.), comparándola cuando sea posible con información de ecosistemas similares para determinar el grado de perturbación. Se deberán justificar los atributos de la flora y fauna que se van a considerar en la descripción, dependiendo del tipo y magnitud del proyecto, se delimitaran sus áreas de influencia a partir del área del proyecto.

j) Medio socioeconómico:

La descripción de este factor tiene como objetivo conocer las condiciones demográficas, culturales y económicas del área de influencia del proyecto, debiéndose

tratar cuando menos una retrospectiva de 10 años respecto de la fecha en que se esté elaborando el estudio.

Hay que considerar varios aspectos:

- Aspectos socioeconómicos
- Aspectos económicos regional y subregional
- Calidad de vida
- Aspectos históricos, antropológicos, arqueológicos, étnicos y estéticos

Los estudios de factores ambientales estarán de acuerdo con los programas de muestreo y monitoreo de aquellos que se verían seriamente afectados. Por último, servirán como elementos de ponderación para poder valorar los posibles impactos ambientales que se generen.

6.3 DETERMINACION DE LAS TECNICAS PARA ANALISIS DE IMPACTOS

a) Consideraciones generales:

Se presentará la justificación para determinar el uso de las técnicas de análisis de impactos ambientales que hayan sido las más adecuadas al tipo de proyecto propuesto y las consideraciones hechas para su aplicación.

Se analizarán con cuidado los impactos directos e indirectos que se presentarán en el área de emplazamiento del proyecto, como fuera de ella, delimitando las áreas de influencia donde se sentirán los impactos del proyecto sobre cada uno de los factores ambientales.

Para el análisis de los impactos se tomarán en cuenta las normas técnicas y legales existentes y concernientes al ambiente y los recursos naturales, aclarando si las normas son locales, departamentales, nacionales, extranjeras o internacionales.

Se deberá incluir un análisis comparativo entre los impactos que podría causar el proyecto y los que se presentarían por la propia evolución de la zona, aún cuando el proyecto no se llegase a realizar. Dicha comparación se hará por los mismos períodos de tiempo y el resultado indicará el impacto ambiental debido al proyecto. Se identificará el tiempo y época en que se realizarán las acciones y la duración del efecto, ya que de esto dependerá que el impacto resulte severo y aún crítico.

Las técnicas de análisis de impactos se clasifican en cinco tipos, dependiendo de la forma en que se realiza el análisis:

- *Técnicas Ad Hoc*
- *Superposiciones*
- *Listas*
- *Redes*
- *Matrices*

Ya que no existe una técnica universal que satisfaga totalmente los requerimientos de todos los estudios de impacto ambiental, se pueden combinar dos o más de ellas para obtener una técnica compuesta.

b) *Análisis de impactos ambientales:*

Los análisis de impactos ambientales deben ser objetivos, para lo cual será conveniente contar con información adecuada y tiempo suficiente, deberá tomar en cuenta los impactos tanto adversos como benéficos, con el fin de tener más elementos de juicio al seleccionar la opción del proyecto ambientalmente factible. El análisis de impactos se basa principalmente en tres etapas que van relacionadas entre sí y que son:

- *Identificación*
- *Evaluación*
- *Interpretación*

Identificación: *Consiste en determinar las interacciones entre las acciones del proyecto y factores y atributos del ambiente.*

Evaluación: *Consiste en determinar el significado de cada uno de los impactos identificados, mediante el uso de unidades y escalas apropiadas.*

Interpretación: *Consiste en describir los procesos de cambio que se manifestarán en los factores y atributos ambientales por las acciones del proyecto y las consecuencias que pueden presentarse en el futuro a raíz de esos cambios.*

Con toda la información obtenida en las etapas anteriores se tendrá un marco general de las interacciones proyecto-ambiente, el cual servirá para clasificar cada uno de los impactos, según su naturaleza o características en: directos, indirectos, a corto plazo, largo plazo, reversibles, irreversibles, acumulativos y residuales.

6.4 MEDIDAS DE ATENUACION E IMPACTOS RESIDUALES

Se establecerán políticas o estrategias ambientales, la aplicación adicional de equipos, sistemas, acciones y cualquier otro tipo de medidas encaminadas a prevenir

o minimizar los impactos adversos, propios de las opciones del proyecto que se hayan seleccionado, dando prioridad a aquellos particularmente significativos.

Entre las opciones de medidas para minimizar o evitar los impactos adversos o resaltar los benéficos, se pueden considerar las siguientes: reubicarlo, realizar modificaciones al proyecto, empleo de otras tecnologías, posponer la fecha de su realización, instalar equipos anticontaminantes, no llevar a cabo el proyecto, programas de estructuración y compensación medioambientales y planes para el apoyo del desarrollo local, regional o nacional.

Al describir cada medida de atenuación se deberá mencionar hasta qué grado será abatido cada impacto adverso, teniendo como referencia las normas técnicas y legales existentes de los parámetros analizados. También se estimará el incremento en el costo del proyecto debido a las medidas de mitigación.

Se deberán describir los impactos residuales, haciéndose énfasis en lo siguiente:

- *Naturaleza, extensión y duración del impacto, incluyendo el aspecto socioeconómico.*
- *Consecuencias de los impactos residuales.*

Durante las etapas de construcción y operación, se deberá establecer un programa de monitoreo de los factores ambientales que sean afectados, con el fin de verificar que las medidas de mitigación establecidas se pongan en práctica y resulten adecuadas.

6.5 VALUACION ECONOMICA

Para poder realizar un análisis económico, es indispensable la expresión de los efectos en términos monetarios, solamente de esta manera se pueden comparar los resultados del proyecto con la debida consideración de todos los insumos y productos, tomando en cuenta los incorporados a la noción del medio ambiente, no siempre se cuenta con medidas directas obtenidas del mercado, en este caso se procede a imputar valores.

El criterio general debe ser el de "Disposición a pagar" por parte del consumidor, manifestada en otras situaciones de mercado. Hay varias formas de aproximarse a ese valor, existen algunos métodos de valorización, cuando puede aplicarse más de uno, debe seleccionarse el que da el menor valor.

- *Si se pierde totalmente un recurso que tiene precio en el mercado, valorizarlo a ese precio. Si es una pérdida parcial o un daño sufrido, valorizarlo por la*

diferencia entre el anterior y el valor de mercado de bienes similares al recurso luego del impacto, por ejemplo: tierras inundadas por un embalse, tierras disminuidas en su productividad por salinidad.

- *Si se desmejora la calidad de un recurso, valorizarlo por el costo de restituirlo a su estado original, si es técnicamente factible, por ejemplo: obras de drenaje para restituir las condiciones originales a tierras agrícolas afectadas por la construcción de una carretera.*
- *Si el daño puede evitarse por medio de algún dispositivo valorizado por el costo de dicho dispositivo, por ejemplo: Tubos difusores para mitigar el efecto de aumento de temperatura en un cuerpo de agua receptor de aguas de desechos con altas temperaturas.*
- *Si el recurso puede obtenerse de otra fuente, hay que valorizarlo al costo de obtención incluyendo costos de transporte, pérdidas por demora, incertidumbre, etc. por ejemplo: Agua proveniente de fuentes más distantes para sustituir agua contaminada por el proyecto.*
- *Si se trata de un bien de uso gratuito, hay que valorizarlo con una estimación de los gastos adicionales que los consumidores realizan para obtenerlo, por ejemplo: el aprovechamiento de lugares turísticos. O por los que los mismos consumidores pagan por otros bienes alternativos similares, por ejemplo: la habilitación de un lugar turístico de uso gratuito, alternativo a otro de pago. Una aproximación sería el promedio de ambos precios, o sea la mitad del pago, o por lo que consumidores similares pagan en otro lado por el mismo bien, por ejemplo: gas para consumo de familias de similar nivel de vida que viven en zonas de climas parecidos.*
- *Si se trata de valores espirituales o éticos, que escapan a la posibilidad de valorización monetaria, indicarlos claramente y dar órdenes de magnitud, por ejemplo: se inundará un cuarenta por ciento de la zona arqueológica. Hay casos en que se ven afectados este tipo de valores y simultáneamente valores monetarios, en esta situación se pueden presentar los últimos como "Mínimo" dentro del conjunto de valores, por ejemplo: si una persona queda imposibilitada para trabajar a raíz de un accidente causado por el proyecto, se pierde todo lo que la misma podría haber producido el resto de su vida de trabajo: esto puede valorizarse en dinero, además la persona y las personas allegadas se verán afectadas en términos de sufrimiento, pérdida del goce de una vida normal, etc. Estos valores no son cuantificables en dinero, pero deben ser señalados e influir en las decisiones.*

En todos los casos debe establecerse el momento en que se producirá la pérdida, para su correcta colocación dentro del flujo de costos y beneficios.

Se consideran aparte los "bienes públicos", que son aquellos que deben ser provistos a toda la comunidad sin posibilidad de excluir a quienes no los desean.

En estos casos no se pueden tomar como referencia las decisiones individuales de consumo, es una decisión colectiva y tiene que realizarse a través de los mecanismos políticos.

Como referencia pueden tomarse los gastos realizados en preservar algunos de estos valores en fechas recientes y condiciones similares, pero debe tenerse claro que es una forma muy rudimentaria de estimación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

a) Conclusiones:

En la industria geotérmica también se enfrentan problemas de impacto ambiental y para disminuirlos existen medidas efectivas que en su mayoría mitigan estas situaciones.

La energía eléctrica es generada en gran parte usando vapor natural que proviene de un yacimiento geotérmico que hace girar la turbina, acoplada al generador, por lo que la industria geotérmica tiene la gran ventaja de producir energía limpia y no enfrentar como es el caso de otras industrias los problemas relacionados con la producción de vapor a base de combustibles fósiles que contaminan el ambiente.

En la evaluación del impacto ambiental se debe asegurar, prevenir y manejar desde el principio del proyecto los problemas potenciales que pudiesen afectar al medio ambiente, el examen inicial ambiental deberá prever la ocurrencia de impactos significativos ocasionados por las actividades durante la etapa exploratoria.

Si no se detectan posibles efectos adversos, el proyecto puede proseguir sin ningún cambio y no será necesario realizar un análisis posterior en materia ambiental.

Si existen posibles efectos adversos, se identificarán medidas factibles de mitigación.

Si se desconoce la naturaleza y la cobertura de los posibles impactos ambientales, se necesita un análisis más detallado, posiblemente con base en una recopilación bibliográfica más extensa y/o estudios de campo.

Si existen efectos ambientales adversos significativos se requiere una evaluación formal.

Con base a lo anterior, el dictamen que se derive del análisis y evaluación de lo manifestado, establecerá las bases para la implementación condicionada o el rechazo del plan o proyecto.

b) Recomendaciones:

Para la identificación de los impactos ambientales originados por proyectos geotermoeléctricos se recomienda:

Verificar que las actividades genéricas de este tipo de proyectos se realicen en el caso del proyecto en cuestión.

Describir el área de interés geotérmico, con una introducción general del proyecto destinado a consignar sus objetivos, alcance, localización geográfica, justificación, entidad propietaria y otros aspectos que se consideren de interés.

Verificar que los factores o atributos ambientales típicamente relacionada con proyectos geotermoeléctricos tengan relación con el proyecto específico en cuestión, describiendo los principales impactos ambientales, sus características y su evaluación.

Describir las alternativas del proyecto analizando los impactos ambientales adversos y las correspondientes medidas de mitigación, así también formular un plan de manejo ambiental.

Destacar las áreas en que se necesita mayor información bibliográfica o de campo para aclarar posibles impactos inciertos o cuya magnitud no se pueda determinar con la información disponible.

Describir varias alternativas del proyecto propuesto, que podrían dar los mismos resultados deseados pero con menos impactos ambientales.

Se necesita que el estudio de impacto ambiental lo lleve a cabo un grupo interdisciplinario que cubra como mínimo todos aquellos aspectos ambientales y del proyecto que son relevantes, con el fin de lograr un análisis más completo, integral y objetivo de las implicaciones ambientales de un proyecto.

El grupo que desarrollará el estudio de impacto ambiental debe efectuar visitas de campo al área del proyecto para familiarizarse con ella y tener una visión más realista al definir los impactos potenciales y sus áreas de influencia, así como para complementar, actualizar y verificar la información existente o generarla cuando ésta no esté disponible.

BIBLIOGRAFIA

1. **BANCO CENTROAMERICANO DE INTEGRACION ECONOMICA (BCIE)**
Guía de Evaluación de Impacto Ambiental de la Generación de Energía Eléctrica.
1987.
2. *Caicedo A., Andres, Palma a., Julio Cesar.*
Estado actual de las actividades geotermicas y sus perspectivas de desarrollo en los proximos 10 años, Unidad de Desarrollo Geotérmico (INDE), Guatemala, C.A., 1990.
3. *Instituto Nacional de Electrificación (INDE)*
LA ENERGIA GEOTERMICA Y SU APLICACION PARA GENERAR ENERGIA ELECTRICA Y SU USO EN PROYECTOS DE CALOR DIRECTO. *Unidad de Desarrollo Geotérmico, Guatemala, C.A., 1988.*
4. *OLADE, Metodología de Exploración Geotérmica. Fases de Reconocimiento y Prefactibilidad. Serie: Documentos OLADE No.1, Quito, Ecuador, 1978.*
5. *OLADE, Metodología de Exploración Geotérmica. Fases de Factibilidad. Serie: Documentos OLADE No.5, Quito, Ecuador, 1979.*
6. *OLADE, Metodología OLADE para la Explotación Geotérmica. Serie: Documentos OLADE, Quito, Ecuador, 1980.*
7. *OLADE/BID, Guía para Estudios de Factibilidad Geotérmica, Serie: Documentos OLADE, Quito, Ecuador, 1993.*
8. *OLADE/BID, Guía para Estudios de Reconocimiento y Prefactibilidad Geotérmicos, Serie: Documentos OLADE, Quito, Ecuador, 1993.*
9. *OLADE/BID, Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental en Explotaciones Geotérmicas con fines Energéticos. Serie: Documentos OLADE, Quito, Ecuador, 1992.*
10. *OLADE/BID, Guía para la Evaluación de Zonas Geotérmicas durante las Etapas previas a la Factibilidad. Serie: Documentos OLADE, Quito, Ecuador, 1993.*
11. *G. TYLER MILLER Jr., Ecología y Medio Ambiente, Grupo Editorial Americano S.A. de C.V., 1994.*