

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS BENEFICIOS DE LA  
ECOEficiencia EN EL PROCESO DE  
LA PERFORACIÓN DE POZOS GEOTÉRMICOS

PRESENTADO POR:

KARLA PATRICIA ALVARENGA ARTIGA  
JENNIFER BEATRIZ AMAYA MATA  
MORENA DEL ROCÍO SIBRIÁN CARBALLO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERA QUÍMICA

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2004

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :

Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL:

Licda. Alicia Margarita Rivas de Recinos

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

SECRETARIO :

Ing. Oscar Eduardo Marroquín Hernández

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

DIRECTOR :

Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIRIA QUIMICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:  
INGENIERA QUÍMICA

Título :

EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS BENEFICIOS DE LA ECOEFICIENCIA  
EN EL PROCESO DE LA PERFORACIÓN DE POZOS GEOTÉRMICOS

Presentado por :

KARLA PATRICIA ALVARENGA ARTIGA  
JENNIFER BEATRIZ AMAYA MATA  
MORENA DEL ROCÍO SIBRIÁN CARBALLO

Trabajo de graduación aprobado por:

DOCENTES DIRECTORES :

Ing. Miguel Francisco Arévalo Martínez

Ing. Juan Rodolfo Ramírez Guzmán

San Salvador, Noviembre de 2004

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

Ing. Miguel Francisco Arévalo Martínez

Ing. Juan Rodolfo Ramírez Guzmán

## **DEDICATORIA**

Principalmente a Dios, por que es por el que estoy aquí.

A mis Padres:

Rosa de Alvarenga y José Alvarenga, por todo su apoyo y amor que sin ellos no hubiera podido salir adelante.

A mi Esposo:

William Rodríguez, por estar allí, por luchar juntos, apoyándome, comprendiéndome y sobre todo por amarme.

A mi Hija:

Pamela Tais, por ser mi vida, mi luz, lo más grande y lo que me impulsa a ser cada día mejor.

A mis hermanos y demás familia:

Francis, Alex, José, Yolanda, Ana, Edith, Merly, Raúl; gracias por su apoyo y estar cuando los necesite.

A mis amigas, compañeras y comadres:

Rocío y Jennifer, por formar una amistad, ya que trabajando en equipo todo se logra.

A Mis amigos y compañeros:

Claudia S, Raquel, Gisela, Claudia Z, Karen, Cristo, Mario, Kevin, Gaby, Wilson, Lisandro, Rene, Manuel, Rolando, Alejandro, Liss, Patty, Edwin, Nelson, Alejandra, y los que se me olvidaron. Gracias por su ayuda y comprensión.

Karlita

## **DEDICATORIA**

Ante todo a Diosito.

A mi mami, a mis hermanitos y a pesar de todo a mi papi.

A toda mi familia Amaya y Mata, primos, tíos, abuelas (especialmente a mi abuelita Julia que está ya en primera fila).

A Rolando por estar conmigo y ser el amor de mi vida.

A la gente PDS, especialmente las chicas (Bea, Caro y Mirtala) con quienes aprendí tanto, especialmente a viajar al infinito y más allá todos los días y a no dormir.

A la mara, quienes en algún momento durante todos estos 7 años pusieron su granito de arena (Emerson, Mónica, Jonathan, Karlita Calvo, Aurely, Liss, Mario, Luis Franco, Ronnie, René, Gaby, Kevin, Saz, etc., etc., etc.).

A Karla y Rocío por la paciencia, apoyo y comprensión.

A Marvin; porque Diosito aprieta, pero no ahorca.

Jennifer Beatriz Amaya Mata, ck

## **DEDICATORIA**

### **A Dios:**

Por haberme dado la fuerzas para seguir adelante inclusive en los momentos mas difíciles, y haberme dado a mis padres, mis amigos, mis hermanas y mi hermano, sin quienes lograr escalar este primer peldaño de la escalera hubiese sido imposible.

### **A mi papito:**

Por haber sido mi apoyo y fuente de motivación para culminar mi carrera y por haberme animado a seguir adelante, haberme dado siempre su confianza, su apoyo y en especial por estar siempre ahí, en el lugar preciso y en el momento justo.

### **A mi mami:**

Por haber sido ejemplo de esfuerzo, dedicación y abnegación.

### **A mis hermanas y mi hermano:**

Jacqueline, Paty y Alfredo; por ser amigos, por su amor y ayuda.

### **A mis amigos:**

Por haber sido apoyo y haberme comprendido en los momentos difíciles. Por toda la ayuda que me brindaron, a lo largo de la carrera, pero en especial por su amistad ya que sin ella no seria tan satisfactorio el haber cruzado esta largo camino.

Rocío Sibrián

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos infinitamente a las empresas y personas que colaboraron con la realización de este trabajo de graduación, ya que sin ellos no hubiéramos logrado alcanzar con éxito nuestros objetivos.

- La Geo S.A. de C.V.
- Perforadora Santa Bárbara
- Enel Green Power
  
- Ing. Ana Silvia Ayala de Arévalo
- Ing. Rivas
- Ing. Jaime Arévalo
- Ing. Carlos Zelaya
- Ing. Daniel Mejía
- Geo. Marlon Alonso
- Marco Tulio Granados

Y a nuestros asesores y docentes de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador por guiarnos a la culminación de nuestra carrera.

- Ing. Miguel Francisco Arévalo Martínez
- Ing. Juan Rodolfo Ramírez Guzmán

## RESUMEN

El estudio detallado a continuación aborda los principales beneficios de la aplicación del concepto de ecoeficiencia en la perforación de pozos geotérmicos. Como se explicará mas adelante ecoeficiencia es reducir el uso de recursos naturales (materia prima, insumos, energía, combustibles, etc.) y el impacto al medio ambiente para hacer a la empresa más competitiva y rentable.

En los dos primeros capítulos se describen las generalidades de la geotermia, sus orígenes, formas de extracción y exploración, tipos de pozos y la descripción del proceso de extracción y generación de la energía. De igual manera se hace una breve descripción del campo geotérmico de Berlín, su ubicación, las características geológicas e hidrológicas; además se muestran donde se encuentran ubicados los pozos que se están perforando al momento de realizar este estudio.

En el tercer capítulo se describe todo el proceso de perforación, todo el equipo que se utiliza durante todo el proceso y además se hace una caracterización de la plataforma de perforación. En el capítulo cuatro se muestra el impacto ambiental de la perforación de pozos geotérmicos, los principales resultados del estudio de impacto ambiental realizado en nuestra zona de estudio, así como las medidas de control y el plan de monitoreo ambiental.

En el capítulo cinco es donde se trata todos los aspectos sobre la ecoeficiencia, como ha ido evolucionando el interés ambiental, la definición de ecoeficiencia, las bases, herramientas y técnicas que se pueden utilizar, beneficios y consecuencias. El capítulo seis es donde se

hace la evaluación de la ecoeficiencia por el Método Activity Based Costing (ABC, costos basados en actividades); el cual, mediante herramientas de producción más/limpia, realiza un análisis del proceso, donde se hace el diagnóstico, se identifican las opciones de mejora y se da el plazo para la implementación de dichas opciones.

Como resultado de la investigación se pudo concluir que uno de los aspectos para volver un proceso ecoeficiente, es necesario de que la gerencia este conciente de la importancia de su implementación, lo cual garantizara el éxito de la transformación del proceso.

# INDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAGINA</b>
<b>INTRODUCCION</b>	i
<b>CAPITULO I. GENERALIDADES DE LA GEOTERMIA</b>	
1.1 Orígenes de la Energía Geotérmica	1
1.1.1 Flujo Normal de Calor	3
1.1.2 Flujo Anómalo de calor y las Áreas Geotérmicas	4
1.1.3 Campo Geotérmico	7
1.2 Forma de Extracción de la energía Geotérmica	10
1.3 Exploración geotérmica	12
1.4 Tipos de pozos geotérmicos	13
1.4.1 Pozos exploratorios	14
a) De gradiente	14
b) De testigo continuo	14
c) Exploratorio de múltiple propósito	15
d) Exploratorio profundo	15
1.4.2 Pozos de explotación	16
a) De producción	17
b) De reinyección	17
c) De propósitos especiales	17
1.5 Descripción del proceso de extracción y generación	17
<b>CAPITULO II. CAMPO GEOTÉRMICO DE BERLÍN</b>	
2.1 Ubicación del Campo	21
2.2 Características Geológicas e Hidrogeológicas.	25
2.2.1 Componente Geológico	25
a) Geomorfología	25

b) Estructuras geológicas	26
2.2.2 Componente Hidrogeológico	30
<b>2.3 Ubicación de los pozos a perforar y en proceso de perforación</b>	<b>30</b>
2.3.1 Hidrología	32
a) Sitio Las Crucitas	33
b) Sitio Beneficio Santa Fermina	33
2.3.2 Geología	35

### **CAPITULO III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PERFORACION**

3.1 Generalidades	37
3.1.1 Contrapozos	37
3.1.2 Diámetro óptimo de los pozos	38
3.1.3 Fases del proceso de perforación	40
3.1.4 Fluidos de perforación	47
3.1.5 Cementación	49
3.1.6 Apertura del pozo	52
3.1.7 Estimulación de la producción	53
3.1.8 Perforación direccional	56
3.2 Equipo utilizado en la perforación	58
3.2.1 Barrenas	58
3.2.2 Tuberías de revestimiento	60
3.2.3 Preventores	62
3.2.4 Equipo del sistema de circulación del fluido de perforación	63
a) Bombas de lodo	64
b) Manguera, swivel y retorno de lodo	65
c) Línea de retorno de lodo	66
d) Cribas vibratorias	66

e) Pilas de lodo	66
f) Tanque químico	67
g) Bodega de materiales	67
h) Desarenadores y centrifugas	68
3.3 Caracterización de la plataforma	68
3.4 Desechos generados en el proceso de perforación	71
a) Desechos líquidos	71
b) Desechos sólidos	71
c) Desechos domésticos	72

## **CAPITULO IV. IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA PERFORACION DE POZOS GEOTERMICOS**

4.1 Impacto ambiental	73
4.2 Estudio de Impacto Ambiental	74
4.2.1 Antecedentes en la geotermia	74
4.2.2 El EIA en El Salvador	75
4.3 Posibles impactos producidos por la energía geotérmica	76
a) Exploración preliminar	78
b) Exploración profunda	78
c) Fase de producción	80
4.4 Resultados del EIA realizado en la expansión de la zona sur del campo geotérmico de Berlín	82
4.4.1 Medidas de control ambiental	86
4.4.2 Plan de monitoreo ambiental	86

## **CAPITULO V. ECOEFICIENCIA**

5.1 Evolución del interés ambiental	89
5.2 Qué es la Ecoeficiencia	91
5.2.1 Bases de la Ecoeficiencia	94

5.2.2 Herramientas de la Ecoeficiencia	95
5.2.3 Beneficios y consecuencias	97
5.2.4 Técnicas de ecoeficiencia	98

## **CAPITULO VI. ECOEFICIENCIA EN LA PERFORACIÓN DE POZOS GEOTÉRMICOS**

6.1 Activity Based Costing (ABC)	100
6.1.1 Fase I: Diagnóstico del proceso	101
a) Descripción de los procesos tipo y determinación del flujo de materiales	101
b) Identificación de los efectos ambientales del proceso	102
c) Identificación de riesgos asociados	102
d) Identificación de opciones de mejora	103
6.1.2 Fase II: Análisis de viabilidad	104
a) Selección de las opciones	105
b) Valoración de la viabilidad técnica	105
c) Valoración de la viabilidad económica	106
6.1.3 Fase III: Implementación de las medidas	107
6.2 Evaluación ecoeficiente del proceso de perforación del pozo TR-18 en el campo geotérmico de Berlín, Usulután.	107
6.2.1 Fase I: Diagnóstico del proceso	107
a) Descripción del proceso	107
b) Identificación de los efectos medioambientales del proceso	112
c) Identificación de riesgos asociados	115
d) Identificación de opciones de mejora	119
6.2.2 Fase II: Análisis de viabilidad	120
6.2.3 Fase III: Implementación de medidas	125

<b>CONCLUSIONES</b>	126
<b>RECOMENDACIONES</b>	128
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	129
<b>GLOSARIO</b>	133
<b>ANEXOS</b>	

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURAS</b>	<b>PAGINA</b>
Figura 1. Esquema genérico de un campo geotérmico	2
Figura 2. Esquema de las doce placas tectónicas de la tierra	3
Figura 3. Zonas de alta temperatura en el mundo	5
Figura 4. Estructura de un campo geotérmico	8
Figura 5. Separador ciclónico de vapor	19
Figura 6. Proceso de generación eléctrica en geotermia	20
Figura 7. Ubicación de las principales zonas de actividad geotérmica en El Salvador	23
Figura 8. Ubicación de El Campo Geotérmico de Berlín	24
Figura 9. Esquema de las fallas NO-SE, borde caldérico y falla graben central	26
Figura 10. Esquema del borde caldérico de Berlín	27
Figura 11. Mapa geológico-estructural del campo geotérmico de Berlín	29
Figura 12. Mapa de localización de la zona Sureste del Campo geotérmico de Berlín, Usulután	31
Figura 13. Red de drenajes del Campo Geotérmico de Berlín	34
Figura 14. Zapata, en el inferior de la tubería de revestimiento	42
Figura 15. Secuencia de perforación de un pozo	46
Figura 16. Equipo flotador para cementación	51
Figura 17. Previo y posterior a la estimulación	54
Figura 18. Daño del pozo por ingreso de lodos	55
Figura 19. Incrustaciones por fluidos de reinyección	55

Figura 20.	Pozo estimulado	56
Figura 21.	Pozo direccional	57
Figura 22.	Esquema simplificado de un equipo de perforación	59
Figura 23.	Barrenas tricónicas	60
Figura 24.	Tubería de revestimiento	62
Figura 25.	Sistema de preventores en pozo TR-18, Berlín.	63
Figura 26.	Componentes de un sistema de circulación de fluidos	64
Figura 27.	Bombas de alta presión	65
Figura 28.	Conjunto superior del sistema de circulación de lodos	65
Figura 29.	Criba vibratoria: a) Tamiz vibratorio, b) Los recortes son separados y removidos	66
Figura 30.	Pileta de lodos	67
Figura 31.	Bodega de materiales en plataforma	67
Figura 32.	Sistema de ciclones	68
Figura 33.	Distribución en planta de la plataforma de perforación	70
Figura 34.	Proceso gráfico de evaluación ambiental para el inicio de actividades, obras o proyectos	77
Figura 35.	Matriz de evaluación de impactos	84
Figura 36.	Diagrama de flujo simplificado para el proceso de perforación de pozos geotérmicos	108

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLAS</b>		<b>PAGINA</b>
Tabla 1.	Localización de sitios de perforación	30
Tabla 2.	Ubicación de fuentes y fumarolas en zona sur del área geotérmica de Berlín	36
Tabla 3.	Guía para tamaños óptimos de pozos	39
Tabla 4.	Diámetros de agujero y de tubería por etapa	40
Tabla 5.	Tipos de fluidos de perforación	48
Tabla 6.	Distribución de áreas en la plataforma del TR-18, Berlín	69
Tabla 7.	Clasificación de las características de las fuentes de energía geotérmica y sus efectos	79
Tabla 8.	Resumen de los posibles impactos ambientales ocasionados por el aprovechamiento de la energía Geotérmica.	83
Tabla 9.	Análisis de los impactos sobre el ambiente	85
Tabla 10.	Medidas de mitigación ante los impactos ambientales generados	86
Tabla 11.	Monitoreo ambiental para las obras civiles en proyectos geotérmicos	87
Tabla 12.	Monitoreo ambiental para la perforación de pozos geotérmicos	88
Tabla 13.	Cronología sobre el interés ambiental	89
Tabla 14.	Fases del diseño y aplicación de mejoras	100
Tabla 15.	Entradas y salidas de proceso en la perforación	109
Tabla 16.	Detalle de los aspectos medioambientales significativos	112

Tabla 17.	Valoración del suceso con su respectivo riesgo potencial asociado	116
Tabla 18.	Alternativas y opciones de mejora para el proceso	119
Tabla 19.	Período sugerido para implementación de opciones de mejora	125

# INDICE DE ANEXOS

## ANEXO

- A Fundación Entorno
- B Hoja de control de procedimientos de muestreo
- C Método de muestreo Military Standard 105D
- D Hoja de instrucción para manipulación de insumos. Dirigidos a empleados y subcontratistas
- E Control de inventarios
- F Normativa para límite de ruido
- G Actividades realizadas actualmente durante el proceso de perforación para minimizar el impacto ambiental

## INTRODUCCION

Históricamente las empresas que producen algún bien o servicio han trabajado bajo el esquema "toma, fabrica y desperdicia". Este esquema permite que materias primas y recursos energéticos se consuman de manera innecesaria y los residuos generados se dispongan o confinen en sitios no adecuados provocando un impacto ambiental y económico negativo. Además esto hace a las empresas ineficientes y poco competitivas. Poco a poco las empresas se fueron dando cuenta que el crecimiento económico estaba aunado con el deterioro ambiental.

Es así como surge la "Ecoeficiencia", un concepto que trae implícitas las ventajas no sólo al ambiente, si no también a las empresas, ya que, lo que se pretende es "producir más con menos". Lo que significa, utilizar menos recursos naturales y energía en el proceso productivo, reducir los desechos y atenuar la contaminación. Lo que además trae beneficios a las empresas, ya que sus costos de producción y operación se ven disminuidos.

La energía geotérmica es considerada una de las energías más limpias utilizadas en el ámbito mundial. El recurso geotérmico en si no crea impacto, sino que son las tecnologías desarrolladas y un mal manejo del recurso los que pueden causar impactos irreversibles en el ambiente y las comunidades humanas circundantes. De aquí la importancia de la aplicación de la ecoeficiencia en la perforación de los pozos geotérmicos, para tratar de minimizar el impacto al medio ambiente y aumentar la eficiencia de los procesos.

# **CAPITULO I. GENERALIDADES DE LA GEOTERMIA**

## **1.1 Orígenes de la Energía Geotérmica**

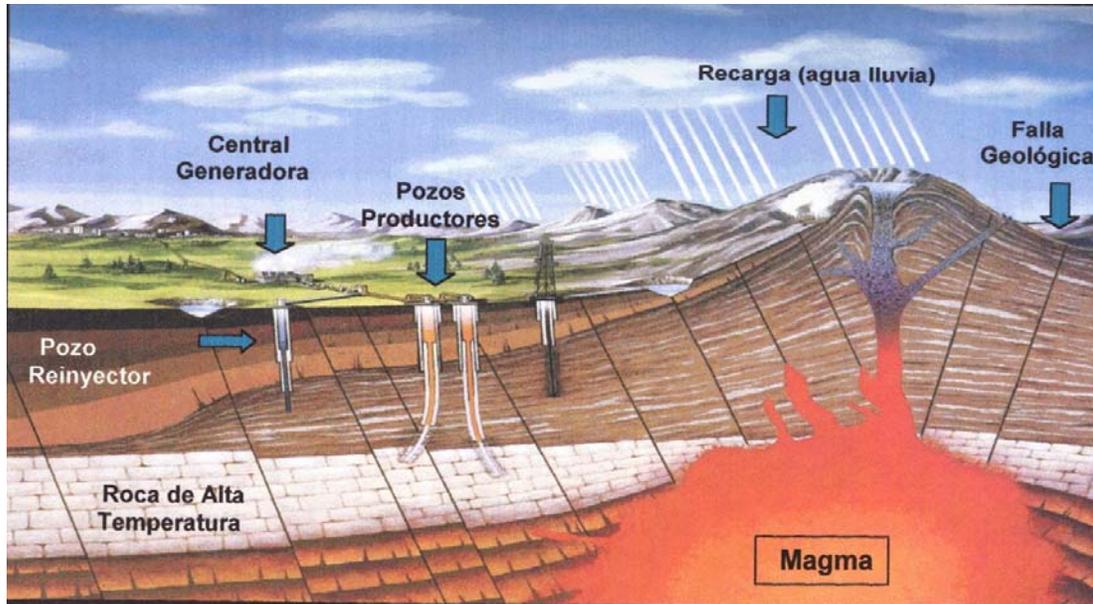
GEOTERMIA significa literalmente calor terrestre; sin embargo, el término se refiere en práctica al aprovechamiento industrial del vapor de agua, extraído (artificialmente) con suficiente presión y temperatura como para mover un turbogenerador de electricidad.

Las plantas geotérmicas aprovechan el calor generado por la tierra. A varios kilómetros de profundidad, en tierras volcánicas, los geólogos han encontrado cámaras magmáticas, con roca a varios cientos de grados centígrados. Además en algunos lugares se dan otras condiciones especiales como son capas rocosas porosas y capas rocosas impermeables que atrapan agua y vapor de agua a altas temperaturas y presión y que impiden que éstos salgan a la superficie. Si se combinan estas condiciones se produce un yacimiento geotérmico.

El agua referida es en general meteórica, es decir agua lluvia, que se infiltra hasta grandes profundidades y se calienta y presuriza al encontrar su "olla de presión" el reservorio geotérmico. Destapar esa "olla" en forma controlada es lo que hace un pozo geotérmico y utilizar la fuerza y energía del vapor que se genera al despresurizar un agua encerrada con mucho más de 100 °C de temperatura. En la figura 1 se muestra un esquema genérico de un Campo Geotérmico.

Datan del siglo XVII las observaciones mineras que mostraron que en cualquier sitio la temperatura de la corteza terrestre aumenta con la profundidad, existiendo por lo tanto un gradiente de temperatura o gradiente térmico, cuyo valor normal o de referencia, es de 1 °C por cada 33 metros. El fenómeno se debe evidentemente a un flujo de calor directo desde el interior hacia el exterior de la tierra, cuya fuente debe estar directamente relacionada con la naturaleza interior

de nuestro planeta y sus procesos físicos, descritos resumidamente en lo que sigue.



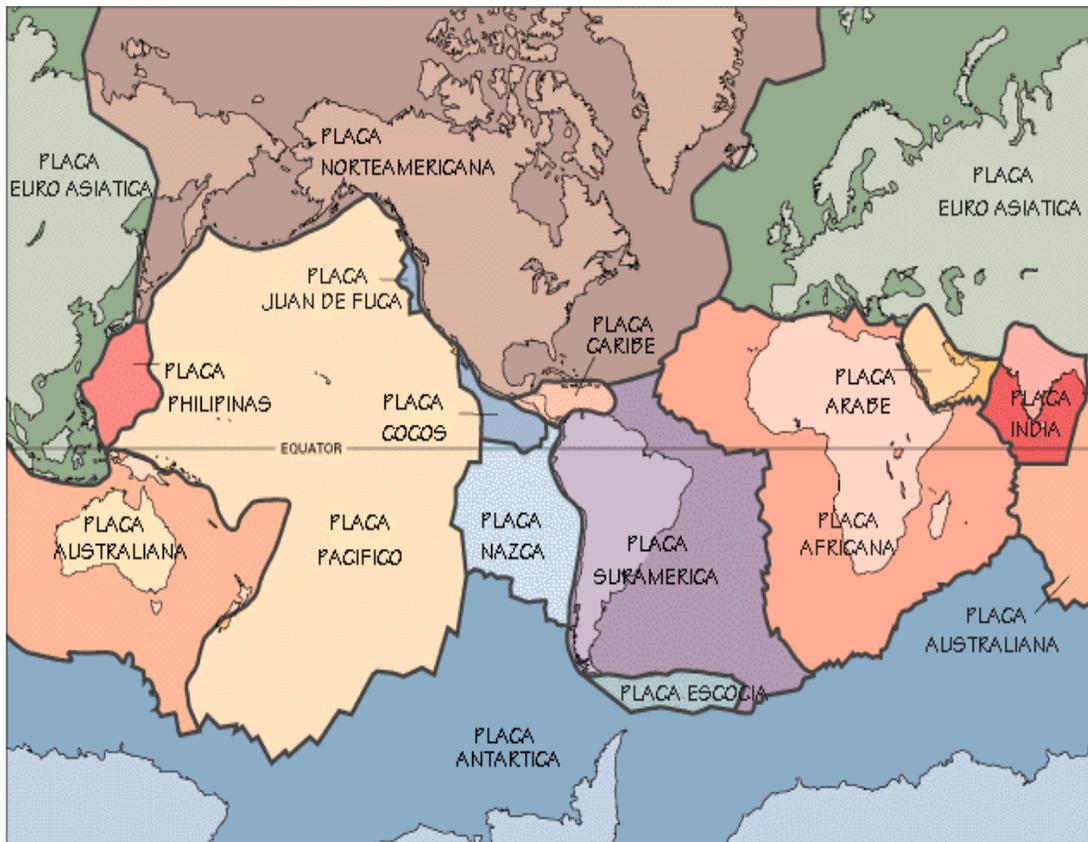
**Figura 1.** Esquema genérico de un campo geotérmico

La tierra, de la superficie hacia el centro y de acuerdo al modelo dinámico vigente, estaría formada por la corteza, el manto o magma y el núcleo central; siendo la primera conformada por unas 12 placas rígidas (placas tectónicas), que tienen libertad de movimiento sobre el manto (Fig. 2). Este modelo presupone que las placas están siendo movidas entre sí por corrientes convectivas que las hacen flotar y resbalar sobre el manto plástico. Las juntas entre las diversas placas están representadas por dorsales medio-oceánicas y por *zonas de subducción*, que son en general los medios naturales de escape o movimiento frecuente del magma y, consecuentemente, focos de producción excepcionalmente alta de calor terrestre.

Dondequiera que dos placas se separen, la abertura que queda entre ellas se llena inmediatamente del material caliente que fluye hacia arriba proveniente del manto. Este material hace crecer los extremos de las placas separantes y estos extremos crecidos forman las

denominadas cordilleras (o crestas) medio-oceánicas. Esa nueva roca por supuesto se enfría a medida que se aleja de la cresta.

Si se atraviesa una de estas placas a partir de la cresta se llega a encontrar usualmente una gran trinchera, o depresión oceánica, que marca un sitio donde la placa más antigua y más fría se ha hundido debajo de otra (subducción) o ha sido reciclada hacia el manto. La placa que se hunde es normalmente oceánica.



**Figura 2.** Esquema de las doce placas tectónicas de la tierra

### 1.1.1 Flujo Normal de Calor

La parte granítica de la corteza es relativamente rica en elementos radioactivos de larga vida media (U238, U235, Th232, K40), que en

su proceso de decaimiento entregan calor. Otra fracción importante del calor proviene del manto, en cantidad variable de una región a otra. En las áreas oceánicas, en las cuales está ausente la parte granítica de la corteza y hay sólo unos 5 km de basaltos débilmente radioactivos, el flujo de calor es, prácticamente del mismo valor que en los continentes; de tal manera que en estas áreas la mayor parte del calor debe provenir del manto.

En la base de la corteza (es decir, cerca de 35 km bajo los continentes y 5 km bajo el fondo de los océanos), se tendrían respectivamente temperaturas de 600-700 °C y 150-200 °C; pero sea en áreas continentales como oceánicas, el valor medio del flujo de calor medido en superficie es prácticamente igual y corresponde a 1.65  $\mu\text{cal}/\text{cm}^2\cdot\text{seg}$ . Este valor se considera un flujo de calor normal o de referencia, con respecto al cual se puede cuantificar y calificar las anomalías de flujo de calor (valores superiores al normal), que ocurren en algunos sitios.

### 1.1.2 Flujo Anómalo de calor y las Áreas Geotérmicas

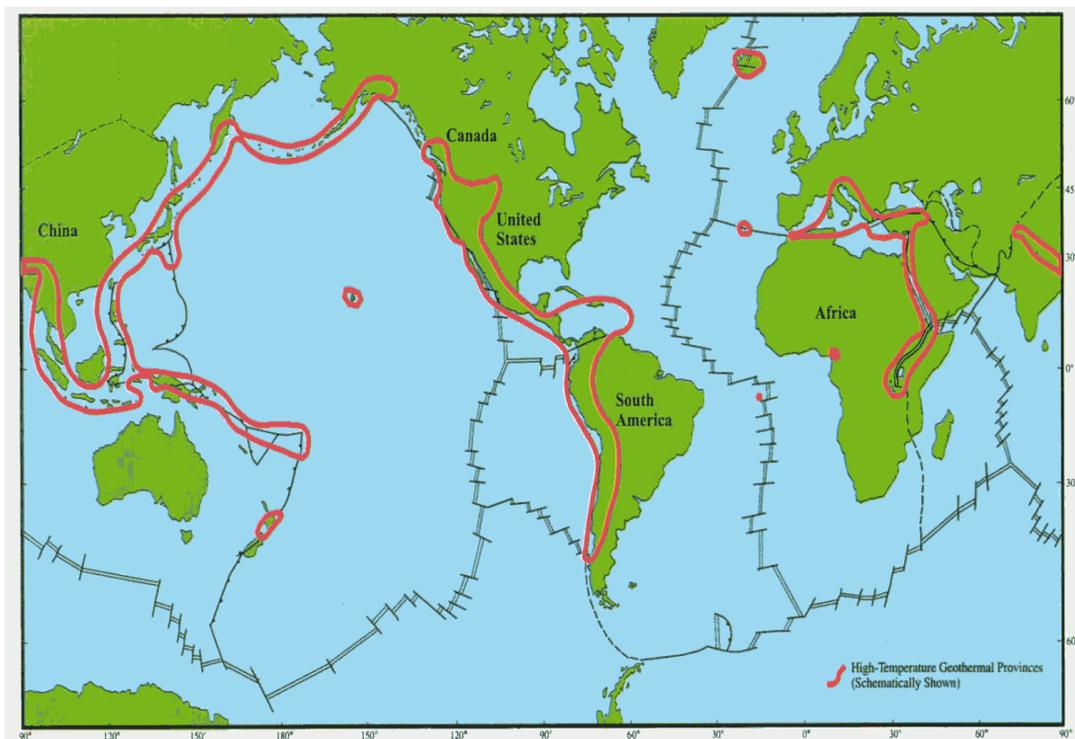
Existen zonas del globo en las cuales las temperaturas indicadas anteriormente para la base de la corteza (600-700 °C y 150-200 °C) son mucho más vecinas a la superficie y por lo tanto el flujo de calor tiene valores mucho más elevados. Estas zonas se encuentran en general sobre las dorsales medio-oceánicas y sobre ciertas fajas de la corteza terrestre (márgenes continentales y arcos insulares).

La región donde se han medido los más altos valores de flujo de calor en todo el globo, se ubica en el océano pacífico sobre una faja de orientación norte - sur que dista unos 2000 km de las costas de Centroamérica (Scientific American, Aug.1977).

Las áreas geotérmicas son también zonas restringidas de la corteza, en las cuales el flujo de calor es anómalo; es decir, decenas o cientos de veces superior al valor normal. Por ejemplo, para el área de

Ahuachapán, alrededor de la zona ocupada por el campo geotérmico, se midió en el pasado un flujo de calor del orden de  $100 \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{seg}$  y pérdidas de calor en superficie de aproximadamente unas 80000 kcal/seg.

El flujo anómalo de calor en un área geotérmica, es más asociado a los fenómenos específicos que provienen de una subducción de placas, particularmente el volcanismo. De hecho, la gran mayoría de campos geotérmicos comprobados en el mundo están localizados en estrecha asociación con este tipo de actividad de las placas (Fig. 3).



**Figura 3.** Zonas de alta temperatura en el mundo

Dado que las placas continentales pueden fracturarse en el proceso de una subducción, además de ocasionarse sismos, se producen fisuras por las que pueden subir "burbujas" de lava. Las "burbujas" que llegan a aflorar en la superficie, dan origen a erupciones volcánicas; pero las que por alguna limitación se quedan a unos

pocos kilómetros de profundidad (5 a 15 kilómetros como referencia internacionalmente aceptada), forman las denominadas "cámaras de magma" o "intrusiones magmáticas".

Inicialmente estas intrusiones son por supuesto mucho más calientes que la roca que las rodea y por lo mismo les sigue necesariamente un proceso de enfriamiento en el que ceden su calor (por conducción) a esas rocas circundantes. Las rocas superiores, tales como las situadas típicamente a unos 2 kilómetros de profundidad en un reservorio geotérmico, son las primeras receptoras potenciales de dicho flujo de calor vertical; otros estratos superiores también reciben, almacenan y dejan escapar fracciones cada vez más reducidas de dicho flujo de calor; la fracción que finalmente se escapa a nivel del suelo puede ser alta, aunque no necesariamente se observe en forma evidente mediante manifestaciones geotérmicas (ausoles).

Aunque las intrusiones magmáticas pueden ocurrir asociadas a "tectonismo sin volcanismo" o a "tectonismo aparejado de volcanismo", es en esta última forma como más usualmente se constituyen en la fuente de calor de las áreas continentales en las que hay una descarga natural y anómala del mismo; es decir, de las áreas geotérmicas.

Puede haber intrusiones entregando calor en las proximidades de volcanes antiguos en su origen y actividad eruptiva; pero tal entrega de calor a niveles de utilidad comercial es más propia del volcanismo joven.

Los volcanes más recientemente activos en esta cadena han sido el de Izalco (23 erupciones desde 770 a 1915, continuamente activo hasta 1957 y una última erupción en 1965); San Miguel (15 erupciones de 1699 a 1882, en 1976 y todavía considerado como activo), San Vicente o Chinchontepec (1643), San Salvador o

Boquerón (4 erupciones de 1659 a 1917) y Santa Ana (6 erupciones de 1520 a 1884).

### 1.1.3 Campo Geotérmico

El aprovechamiento de la energía geotérmica está constituido por tres procesos principales, estos son: la perforación de pozos para extraer el fluido geotérmico del reservorio, la separación y transporte de fluidos en superficie y la conversión de la energía geotérmica a energía eléctrica. El primero se realiza en el área que se conoce como Campo Geotérmico; en el segundo, una parte de las instalaciones se encuentran en el Campo y otras dentro del sitio que se denomina como la Planta Geotérmica; y el tercer proceso se realiza dentro de esta última.

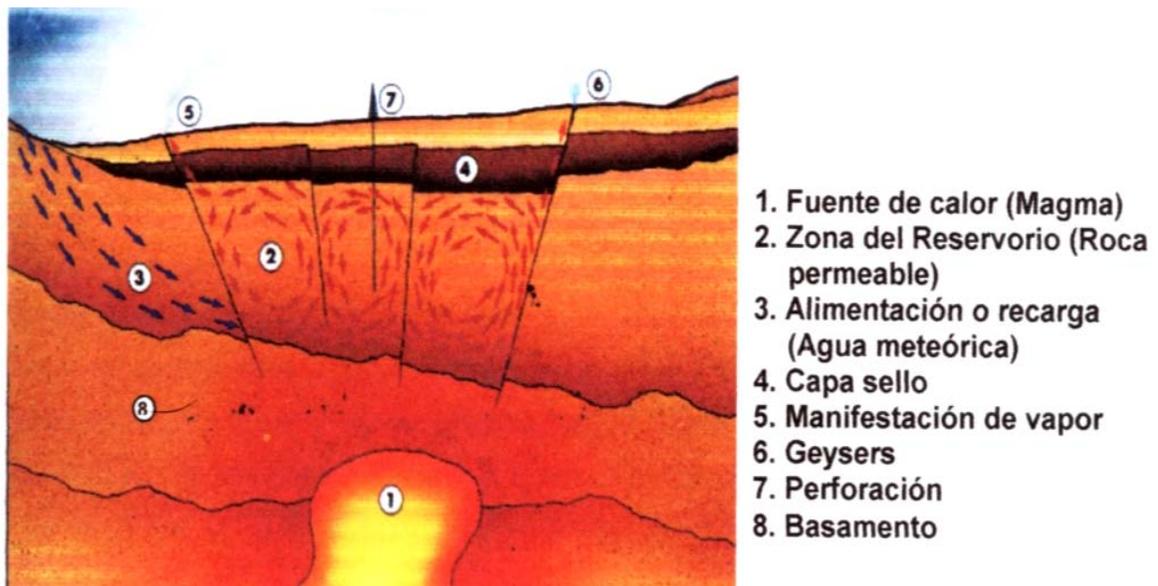
Un campo geotérmico se identifica como aquella área de la corteza terrestre que posee los siguientes elementos (Fig. 4):

- a. *Capa sello*: Representa el estrato más superficial del sistema, compuesto por formaciones prácticamente impermeables, que actúan como un aislante que impide el escape, hacia la superficie, tanto del calor como de los fluidos almacenados por debajo de ella.
- b. *Reservorio geotérmico*: Este estrato está generalmente formado por rocas calientes y permeables con un volumen suficientemente grande que permiten el almacenamiento y circulación de fluidos (agua y/o gases), a alta temperatura y presión. El reservorio es la parte más importante del campo pues es el estrato que almacena el fluido de trabajo (vapor) utilizado para la generación de energía eléctrica.
- c. *Recarga*: La existencia de una formación que tenga capacidad de almacenamiento de fluidos geotérmicos requiere, necesariamente,

de una alimentación, la cual es generalmente el agua de lluvia, que se infiltra tanto en el campo como en las zonas aledañas al mismo a través de fallas geológicas, chimeneas de volcanes y cualquier otro tipo de permeabilidad que exista en el área.

d. *Basamento*: Es la base del reservorio y está formado por rocas impermeables, por lo cual la transmisión de calor se produce principalmente, por mecanismo de conducción desde la fuente de calor.

e. *Fuente de calor*: Dentro de un sistema geotérmico, la transferencia de calor necesaria para la existencia de las características de alta presión y temperaturas en reservorio generalmente se produce a través de intrusiones magmáticas situadas a niveles relativamente profundos de la corteza terrestre (5-15 km) cuya temperatura puede oscilar entre los 600 y 900 °C.



**Figura 4.** Estructura de un campo geotérmico

Podemos encontrar básicamente tres tipos de campos geotérmicos dependiendo de la temperatura a la que sale el agua:

- La energía geotérmica de alta temperatura
- La energía geotérmica de temperaturas medias
- Campo geotérmico de baja temperatura

La energía geotérmica de alta temperatura existe en las zonas activas de la corteza. Su temperatura está comprendida entre 150 y 400 °C, se produce vapor en la superficie que enviando a las turbinas, genera electricidad. Se requieren varios parámetros para que exista un campo geotérmico: un techo compuesto de un cobertura de rocas impermeables; un deposito, o acuífero, de permeabilidad elevada, ente 300 y 2000 metros de profundidad; rocas fracturadas que permitan una circulación convectiva de fluidos, y por lo tanto la transferencia de calor de la fuente a la superficie, y una fuente de calor magmático, entre 3 y 10 kilómetros de profundidad entre 500 y 600 °C. La explotación de un campo de estas características se hace por medio de perforaciones según técnicas casi idénticas a las de la extracción del petróleo.

La energía geotérmica de temperaturas medias es aquella en que los fluidos de los acuíferos están a temperaturas menos elevadas, normalmente entre 70 y 150 °C. Por consiguiente, la conversión vapor-electricidad se realiza a un menor rendimiento, y debe utilizarse como intermediario un fluido volátil. Pequeñas centrales eléctricas pueden explotar estos recursos. La energía geotérmica de baja temperatura es aprovechable en zonas más amplias que las anteriores; por ejemplo, en todas las cuencas sedimentarias. Es debida al gradiente geotérmico. Los fluidos están a temperaturas de 60 a 80 °C.

La energía geotérmica de muy baja temperatura se considera cuando los fluidos se calientan a temperaturas entre 20 y 60 °C. Esta energía

se utiliza para necesidades domésticas, urbanas o agrícolas. La frontera entre energía geotérmica de alta temperatura y la energía geotérmica de baja temperatura es un poco arbitraria; esta frontera es a la temperatura por debajo de la cual no es posible ya producir electricidad con un rendimiento aceptable, entre 120 y 180 °C.

## **1.2 Forma de extracción de la Energía Geotérmica**

Al igual que el petróleo, el fluido geotérmico es un recurso existente a considerables profundidades que sólo puede extraerse mediante pozos que se diseñen y perforen específicamente para ese propósito.

Las plantas geotérmicas aprovechan el calor generado por la tierra. A varios kilómetros de profundidad en tierras volcánicas los geólogos han encontrado cámaras magmáticas, con roca a varios cientos de grados centígrados. Además en algunos lugares se dan otras condiciones especiales como son capas rocosas porosas y capas rocosas impermeables que atrapan agua y vapor de agua a altas temperaturas y presión y que impiden que éstos salgan a la superficie. Si se combinan estas condiciones se produce un yacimiento geotérmico.

Una vez que se dispone de pozos de explotación se extrae el fluido geotérmico que consiste en una combinación de vapor, agua y otros materiales. Éste se conduce hacia la planta geotérmica donde debe ser tratado. Primero pasa por un separador de donde sale el vapor y la salmuera y líquidos de condensación y arrastre, que es una combinación de agua y materiales. Esta última se envía a pozos de reinyección para que no se agote el yacimiento geotérmico. El vapor continúa hacia las turbinas que con su rotación mueve un generador que produce energía eléctrica. Después de la turbina el vapor es condensado y enfriado en torres y lagunas.

Hay similitudes generales entre la perforación petrolera y la geotérmica, sobre todo en la tecnología y en las dimensiones económicas y técnicas del problema. La tecnología de perforación petrolera, siendo más antigua que la geotérmica, ha servido de base en muchos aspectos; sin embargo, hay algunas diferencias importantes que es conveniente reconocer:

Las profundidades alcanzadas con pozos petroleros están en el rango de 5 a 10 kilómetros; en geotermia hay por ahora un límite (tecnológico y económico) que está en el orden de 3 kilómetros. Hay por supuesto al menos una razón muy especial que explica este estado de cosas; a diferencia del petróleo, en el caso geotérmico hay que afrontar el problema de las elevadas temperaturas, las cuales pueden llegar a ser tan altas como para fundir las herramientas de perforación. Otra diferencia importante es que los terrenos petroleros, por ser de naturaleza sedimentaria, son más homogéneos y predecibles que los terrenos volcánicos en los que usualmente está el recurso geotérmico.

Es claro que lo que se persigue extraer en geotermia es fluido, caliente y presurizado, constituido en general por las dos fases del agua (líquido y vapor) y por algunos gases incondensables naturalmente presentes en mayor o menor grado.

La geotermia es una fuente de energía renovable ligada a volcanes, géiseres, aguas termales y zonas tectónicas geológicamente recientes, es decir, con actividad en los últimos diez o veinte mil años en la corteza terrestre. "La actividad volcánica sirve como mecanismo de transporte de masa y energía desde las profundidades terrestres hasta la superficie. Se relaciona con dos tipos de recursos explotables por el ser humano: la energía geotérmica y algunos tipos de yacimientos minerales, que son depósitos de origen magmático e hidrotermal".

### **1.3 Exploración geotérmica**

La exploración es todo un proceso que se comienza con una prospección o exploración en superficie, forma indirecta y a la vez económica de lograr una identificación del recurso. A partir de cierto momento y en función de resultados se complementa con exploración profunda, es decir "pozos exploratorios" de diferente profundidad y diseño dependiendo de su objetivo específico, con los cuales se posibilita una identificación directa y una delimitación de las zonas a perforar para "pinchar" el reservorio. Esto significa que, antes de llegar a esa perforación destinada a extraer el "fluido comercial", hay otros tipos de pozos en general más pequeños y de menor costo, que se perforan en el proceso investigativo.

La perforación de pozos es una de las actividades más caras del proceso geotérmico y por esa razón se emplea a través de un proceso gradual de evaluación de resultados técnicos que cada vez permita ir reduciendo los subsiguientes riesgos mineros y financieros. En geotermia este trabajo a base de "riesgos calculados" y su reducción a medida que crecen las inversiones necesarias, se aborda diseñando la exploración de una región en 3 grandes etapas técnicas, sucesivamente condicionantes y de menor a mayor costo sobre todo por la perforación exploratoria asociada: Reconocimiento, prefactibilidad y factibilidad (esta última vista una explotación comercial de gran escala).

La prospección superficial se realiza aplicando una gran cantidad de técnicas o metodologías, que en nuestro medio solemos identificar con el nombre general de "estudios geocientíficos". Más por simplicidad de presentación que por clasificación rigurosamente correcta, estos estudios se pueden considerar agrupados en 3 grandes geociencias, la geofísica, la geoquímica, y la geología con sus ramas afines. Son áreas diferenciables por su objeto específico de estudio, pero todas persiguen identificar propiedades de las rocas y

de los fluidos que hay abajo y se tienen que complementar entre sí para poder producir un resultado confiable.

Al inicio de toda exploración geotérmica se emplean usualmente la geología (con sus ramas afines aplicadas a geotermia como fotogeología, petrografía, hidrogeología, geovulcanología, etc.) y la geoquímica de superficie (contenidos de elementos químicos en los fluidos de ausoles, aire del suelo, fuentes de agua termal y no termal incluyendo pozos domésticos; pronóstico de temperaturas profundas mediante geotermometría, técnicas isotópicas y otras). La geofísica normalmente se agrega en el camino y comprende entre otras especialidades, la geoeléctrica (estudio de la resistividad del subsuelo), la gravimetría (comportamiento de la densidad), la magnetotelúrica (campos electromagnéticos naturales) y otras.

En casi todas estas disciplinas es usual objetivo o sinónimo de buenos resultados el identificar "zonas de anomalías" (así se habla de anomalía resistiva, gravimétrica, geoquímica, térmica, etc.). La razón estriba en que, al igual que un gradiente de temperatura es anómalo por ser excepcionalmente alto y por lo tanto adecuado a lo que se busca, en todos estos casos lo excepcional y característico de un terreno geotérmico está referenciado con respecto a valores encontrados en un terreno normal o no geotérmico.

#### **1.4 Tipos de pozos geotérmicos**

Históricamente, en nuestro medio se ha hecho referencia a unos 7 tipos de pozo (actualmente reducidos a unos 4 tipos), cada uno con su propia relación de objetivo, diseño (diámetros, profundidad, materiales), costo y uso al que puede destinarse. Yendo de los pequeños a los grandes, secuencia normal de empleo en una exploración, estos tipos de pozo con sus características principales son los siguientes:

#### 1.4.1 Pozos exploratorios

##### a) De gradiente

Usualmente en el rango de 30 a 150 metros de profundidad, y unos 350 metros como máximo; diámetros pequeños en el rango de 2 a 4 pulgadas (especificaciones dadas usualmente como NX, EX, AX, etc.); se ha perforado con el fin principal de medir el gradiente de temperatura.

##### b) De testigo continuo

"Testigo" tiene el significado de "Muestra de roca en forma de núcleo cilíndrico"; a diferencia de las muestras trituradas obtenidas normalmente. El fin principal es estudiar en detalle la litología, implicando mayor complejidad y costo, aunque tengan similares dimensiones que los anteriores.

Estos tipos de "pozos someros", alcanzables con equipos de perforación pequeños, se practicó antes en la etapa inicial de reconocimiento geotérmico de una región o área. Aunque eventualmente complejos en ejecución, la ausencia de elevadas temperaturas y presiones no demandaba el uso de materiales especiales, con lo cual se atenuaba el costo.

Con el tiempo estos dos tipos de pozo se hicieron uno sólo, ampliando un poco el rango de diámetros involucrados y la profundidad, restringiendo a tramos el testigo continuo y conservando a medias el objetivo de medir el gradiente térmico. A este único tipo se le continuó llamando "de testigo continuo" por ser esto lo que comanda los costos y las dificultades técnicas.

El gradiente térmico siempre resultó difícil de medir y dejó de tomarse como objetivo de pozos. Por otra parte, en la actualidad ya no es usual proponer ningún tipo de pozo somero aún en la etapa de reconocimiento, debido sobre todo a los limitados alcances.

### c) Exploratorio de múltiple propósito

Este tipo de pozo vino después a reemplazar los dos anteriores. Múltiple propósito de exploración significa aquí investigar litología, temperatura, permeabilidad, quimismo, etc. Son pozos un poco más grandes en diámetros (agujero máximo en la parte superior de unas 12 pulgadas) y en profundidad (400 a 500 metros como usual y de 600 a 700 metros como máximo). Se comenzaron a utilizar en la medida que se incrementó la gama y la confiabilidad de estudios geocientíficos de superficie. Normalmente corresponden a una etapa de prefactibilidad geotérmica. En términos relativos podrían denominarse también "pozos exploratorios de mediana profundidad"; pueden eventualmente pinchar un reservorio, pero no se hacen con esa expectativa.

### d) Exploratorio profundo

Estos son pozos de diámetros y profundidades grandes (agujeros inicial y final respectivamente de 26 y 8 1/2 pulgadas, con 600 a 1500 m de profundidad; como referencia). En el tipo de comportamiento y en los costos prácticamente no difieren de los pozos que se perforan para la utilización de un reservorio. Son los objetivos y alcances investigativos para una identificación y evaluación directa de propiedades de los fluidos y de las rocas hasta esas profundidades las que hacen diferencia. Normalmente perforados en la parte final de una etapa de prefactibilidad (1 a 3 pozos) y mayormente en una factibilidad (5 a 6), son los que tienen como fin principal interceptar un reservorio de calidad comercial. Estos pozos dan resultados útiles a los fines de una evaluación del potencial energético y de una delimitación de la zona de mayor interés para extraer el recurso; es aquí donde se puede contestar con objetividad la pregunta inicial de dónde perforar.

#### 1.4.2 Pozos de explotación

Este grupo comprende los pozos de explotación, de reinyección y de propósitos especiales, estos últimos en general combinados.

El término "explotación" engloba no solamente la acción principal de producción (extracción del fluido); sino también el caso más general en que ésta puede ser combinada con reinyección (retorno al subsuelo del líquido residual obtenido al haber separado el vapor utilizable para impulsar un turbogenerador), y otros propósitos o necesidades propias de una utilización, tales como la expansión o delimitación del campo (en área y en profundidad) o el perfeccionamiento en el manejo del mismo.

Los pozos perforados para cada uno de estos objetivos reciben estas denominaciones, aunque en general el resultado o el uso final no resulten correspondientes. Los 3 tipos son prácticamente iguales, de diámetros y profundidades grandes "o comerciales", y con diseños y costos muy semejantes a los exploratorios profundos. De hecho algunos de estos últimos son posteriormente utilizados como productores, reinyectores o para observar el comportamiento de la explotación.

Aunque en práctica no se menciona la diferencia, los pozos de explotación de múltiple propósito no son rigurosamente "exploratorios" (en el significado visto antes). En realidad se enmarcan en una optimización de lo que ya se exploró y descubrió (el reservorio comercial); se hacen para tratar de aprovechar todo el potencial disponible en la forma más eficiente que la experiencia va indicando, obtener una máxima vida útil de pozos, instalaciones y equipos principales y la mayor retribución posible a las inversiones efectuadas.

Las profundidades máximas en estos pozos son del orden de 3000 m, aunque en nuestro medio se han realizado sólo en el rango de 600 a

2500 m. Algunas peculiaridades propias de cada uno de estos tipos de pozo son las siguientes:

a) De producción

Reúnen las máximas exigencias en todo sentido. Si resultan no productivos o con déficit en la calidad comercial, lo cual no es extraño dentro de la grande heterogeneidad de los reservorios geotérmicos, pueden eventualmente servir como reinyectores si su ubicación relativa dentro del campo lo permite. A veces se hacen pequeñas modificaciones al interior del pozo para adecuarlo al nuevo uso. En otros casos, se utilizan como pozos de monitoreo para la presión y/o temperatura del reservorio.

b) De reinyección

Se diseñan específicamente en relación a la profundidad y diámetro del agujero a reinyectar; pero su diseño mecánico satisface las mismas exigencias que un pozo productor. De hecho en algunos casos un pozo que fue previsto para reinyección puede operarse en producción si casualmente ese fue el resultado y la conveniencia final. La profundidad total depende de si el esquema previsto de reinyección es arriba, al mismo nivel o por abajo del reservorio principal.

c) De propósitos especiales

Cuando se hacen para verificar la extensión del reservorio en profundidad pueden eventualmente ser más grandes que pozos productores existentes; pero su comportamiento mecánico sigue siendo esencialmente el mismo ya que requieren ser previstos como para operar en una eventual producción.

### **1.5 Descripción del proceso de extracción y generación**

Como se describirá posteriormente, luego de realizar la etapa de perforación profunda y una vez resultan pozos productores de vapor,

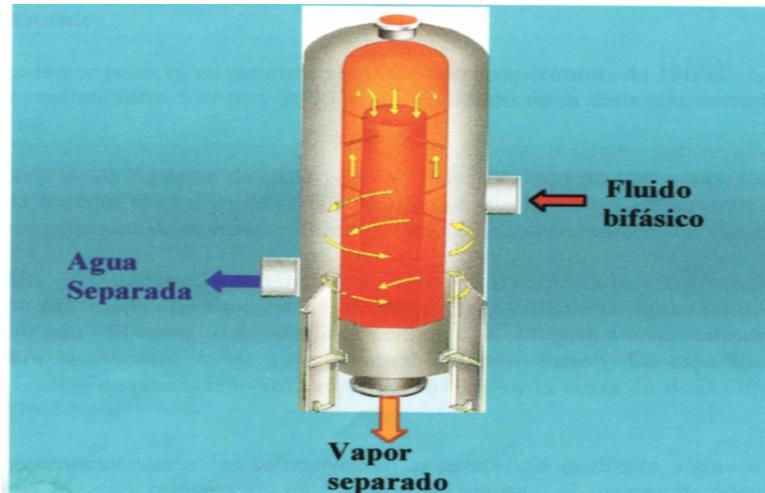
se comprueba la existencia de un reservorio geotérmico, comercialmente explotable.

Una vez instalada la planta de conversión que consta de turbina y generador y la tubería de transporte, los pozos se abren para que el ciclo de generación se inicie.

Este ciclo puede describirse para el Campo Geotérmico de Berlín, como sigue: Del reservorio de líquido dominante se extrae, a través de los pozos productores, una mezcla bifásica compuesta de líquido y vapor a una presión y temperatura elevada (180 °C y 11 bar promedio), ésta se hace pasar por un separador ciclónico, el cual separa la fase agua de la fase vapor tal como el mostrado en la Figura 5.

El agua separada es descargada a un sistema de acarreo, el cual la conduce hacia los pozos destinados a reinyección ya sea en caliente o en frío (para estos últimos se requiere de un tratamiento previo a su reinyección para eliminar la sílice monomérica que contiene). El vapor generado se transporta a través de tuberías aisladas hacia la planta de conversión, estas tuberías poseen trampas de vapor para extraer el condensado que se produce por el enfriamiento ocurrido durante el transporte. Luego el vapor se hace pasar por el separador de humedad o secador, para ser conducido hacia las turbinas con una calidad óptima.

El vapor seco que posee una elevada entalpía acciona los álabes de la turbina, haciéndolos girar para convertir así la energía cinética en energía mecánica (disponibilidad de torque con velocidad angular en el eje de la misma). La turbina hace girar un alternador constituido por el eje de acople a la turbina, el rotor y el estator, el cual transforma la energía mecánica en eléctrica.



**Figura 5.** Separador ciclónico de vapor

A partir de los terminales de salida del alternador, la energía eléctrica normalmente va a un grupo de transformadores que se encargan de elevar el voltaje (subestaciones primarias o elevadoras) y de éstas a las líneas de transmisión primarias o de alto voltaje (230, 115 ó 46 kV, por ejemplo).

El vapor exhausto de la turbina pasa a través de un eyector que extrae los gases no condensables, tales como  $H_2S$  y  $CO_2$ , éstos son descargados a la atmósfera. El vapor es condensado por contacto directo con agua fría proveniente de una torre de enfriamiento, luego es depositado en un tanque de condensados para su posterior reinyección a los pozos perforados para tal fin.

En resumen, una planta geotermoeléctrica es una planta de vapor en la que el generador de vapor ha sido reemplazado por el "reservorio" geotérmico y en la que la energía es suministrada por la energía térmica de la tierra en lugar de petróleo u otro combustible empleado.

En la figura 6 se muestra un ciclo de generación de energía eléctrica de un campo geotérmico.

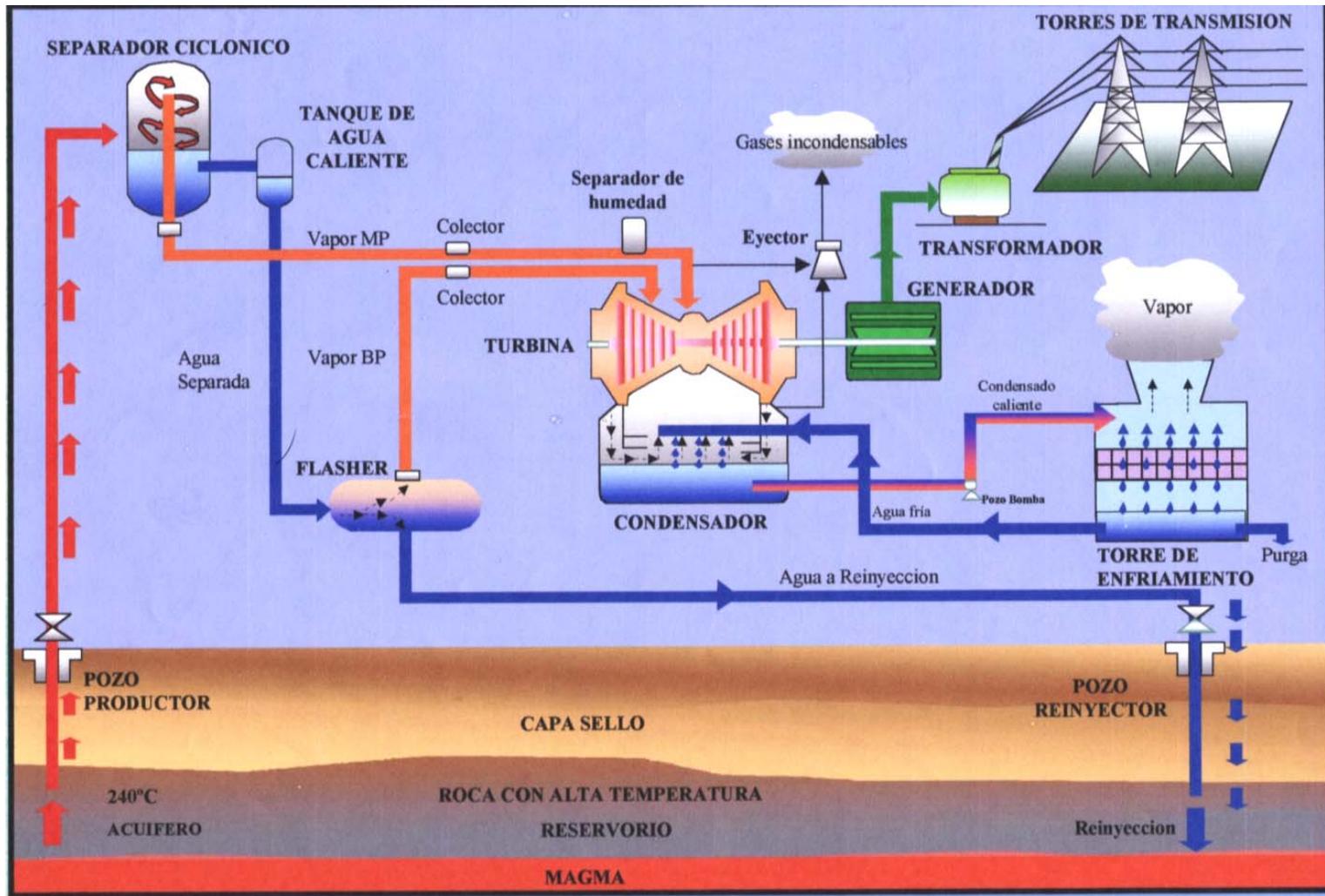


Figura 6. Proceso de generación eléctrica en geotermia

## **CAPITULO II. CAMPO GEOTÉRMICO DE BERLÍN**

### **2.1 Ubicación del Campo**

Los primeros estudios de exploración geotérmica se realizaron aproximadamente en 1954. Después de otros estudios de exploración a mediados de los 60, el pozo AH-1 fue perforado en Ahuachapán, en la parte occidental de El Salvador. Este confirmó la existencia de un reservorio que podría ser explotado comercialmente en la generación de energía. La profundidad del reservorio esta entre 600 y 1500 m, los pozos en el campo operan alrededor de los 6 bar g en el cabezal, con un flujo de masa total en el rango de los 30 a los 100 kg/s.

Exploraciones posteriores y ayuda de las Naciones Unidas propiciaron el arranque del Proyecto Geotérmico de Ahuachapán en 1972, con fondos del Banco Mundial. Para el año 1981, la central de Ahuachapán suplió el 41% de la energía eléctrica de El Salvador, estos niveles son un record hasta el día de hoy. Desafortunadamente, una caída en la presión del reservorio hizo que la central bajara de su máxima capacidad.

En el área oriental de El Salvador, varios pozos fueron perforados en el campo geotérmico de Berlín en la década de los 70, llevando al descubrimiento de otra fuente importante. La profundidad del reservorio en Berlín esta entre los 2000 m y los 2300 m, y los pozos operan generalmente a 10 barg en el cabezal con un flujo de masa total en un rango de los 50 a los 100 kg/s.

Otros proyectos de menor importancia se encuentran en otras zonas del país, y debido a causas varias no han tenido el auge de los mencionados anteriormente.

El campo geotérmico de Berlín esta localizado a unos 112 km ESE de San Salvador (Fig. 7). La característica geológica principal es el tamaño del reservorio, constituido de materiales volcánicos fijos en un área de

unos 3 a 4 km<sup>2</sup> de extensión en dirección NNO-SSE. La actividad en la superficie puede asociarse con la actividad volcánica. La elevación del sistema oscila entre los 400 y 900 m.s.n.m. en la falda norte del complejo volcánico Berlín-Tecapa (Fig. 8), el cual alcanza una elevación de 1300 m.s.n.m. Se cree que la fuente de calor proviene de una cámara de magma activa. El sistema hidrotermal está asociado al sistema volcánico.

En 1966 el gobierno de El Salvador, con asistencia de las Naciones Unidas identificó Berlín como un área de prioridad para la explotación geotérmica; se perforaron dos pozos de gradiente y un pozo exploratorio profundo. Para 1981 se llevó a cabo el estudio de factibilidad con fondos del Banco Mundial, dicho estudio incluyó la perforación de cinco pozos exploratorios profundos. Se identificó un área mínima de producción de 6.8 km<sup>2</sup>, con características de reservorio profundo a 1800 m y temperaturas mayores a los 300 °C. Los estudios se detuvieron debido a la guerra. Para 1987 se completaron las pruebas de producción y para Febrero de 1992 se inicia a explotar comercialmente el campo geotérmico con dos unidades de generación a boca pozo logrando desde esa fecha hasta 1999 una capacidad total instalada de 10 MW.

El sistema geotérmico de Berlín es predominantemente líquido con temperaturas de entre 270 y 305 °C de acuerdo a la química y medidas tomadas en 5 pozos con profundidades entre los 1900 y 2300 m. La entalpía de los pozos varía entre 1200 y 1400 kJ/kg (18-30% de calidad del vapor) correspondiente a un potencial de potencia de 5 a 12 MW.

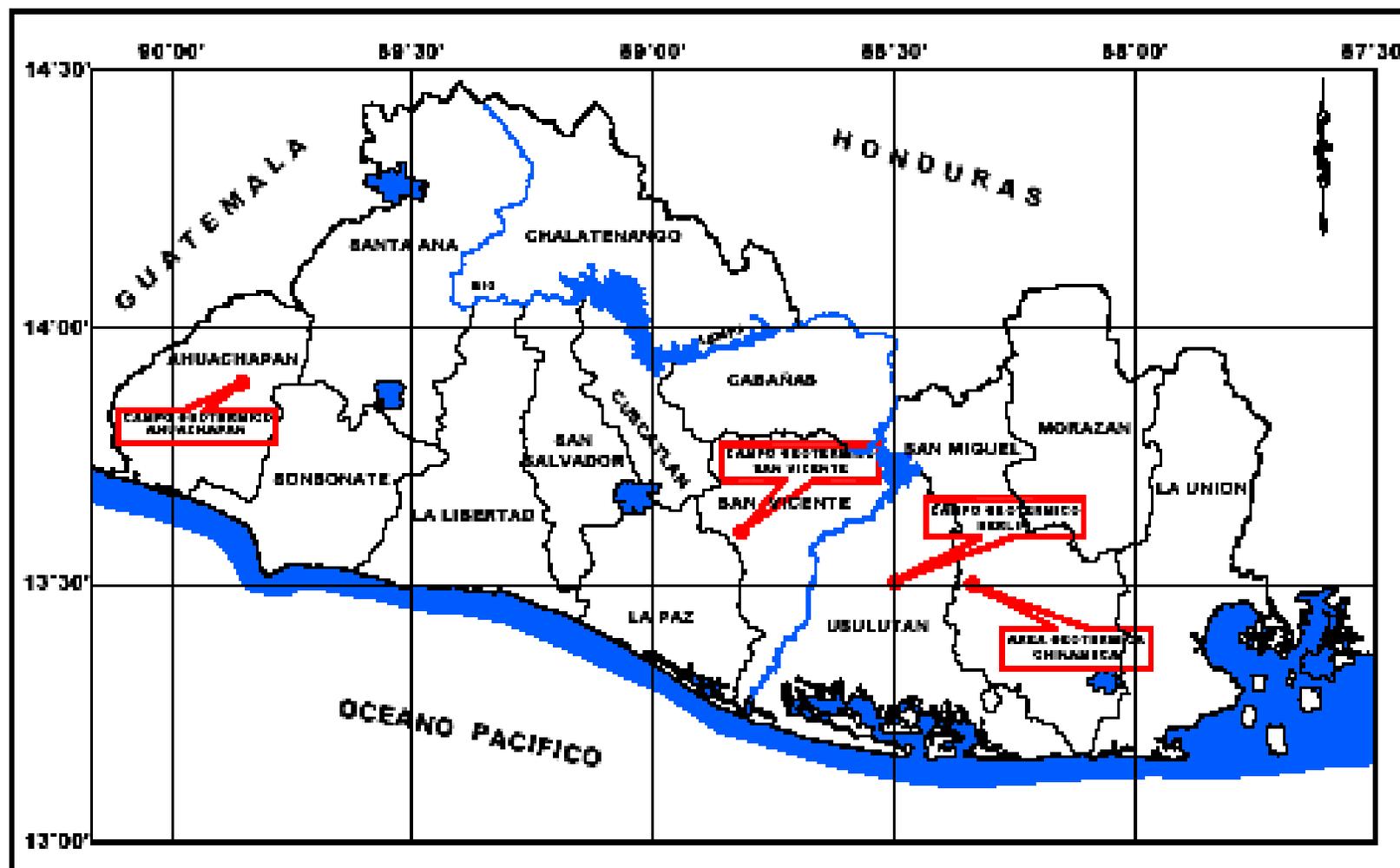


Figura 7. Ubicación de las principales zonas de actividad geotérmica en El Salvador



actualidad la energía obtenida en esta forma ocupa un 23% de la generación de la energía eléctrica total producida en el país.

El fluido geotérmico tiene una composición típica desde los 3000 hasta los 6000 mg/l de cloruros y un contenido de sílice en un rango de los 600 a los 900 mg/l. Presenta un 0.25-0.50 %p/p de gases no condensables en el vapor separado a 8 bar a (bar absolutos).

## **2.2 Características Geológicas e Hidrogeológicas**

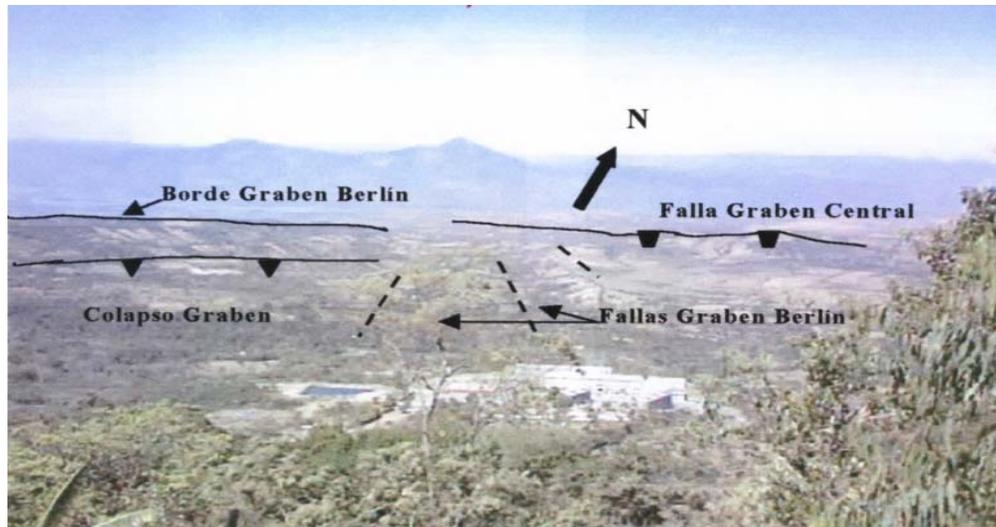
Geológicamente el sistema geotérmico del campo se localiza, como se mencionó anteriormente, en la parte media del complejo volcánico Berlín-Tecapa. La presencia de fumarolas como El Tronador, El Tronadorcito, TR-6, Zapotillo, etc. demuestran la actividad volcánica de la zona, así como también las fuentes termales, zonas de alteración hidrotermal, suelos humeantes y hervideros que se pueden encontrar en la zona de los pozos productores y reinyectores del campo geotérmico de Berlín.

Existen dos sistemas de fallas que forman el graben de Berlín, uno de ellos es un sistema de fallas normales que se orientan en dirección NO-SE, el otro se encuentra en dirección NE-SO (Fig. 9).

### **2.2.1 Componente Geológico**

#### **a) Geomorfología**

En la geomorfología del área influyen eventos tectónicos y principalmente eventos volcánicos. Las depresiones existentes en el terreno se deben a colapsos y erupciones volcánicas, como es el caso de las calderas de Berlín y Blanca-Rosa y los cráteres de la Laguna de Alegría, El Hoyón y Cerro Alegría o Sabana.



**Figura 9.** Esquema de las fallas NO-SE, borde caldérico y falla graben central

#### b) Estructuras geológicas

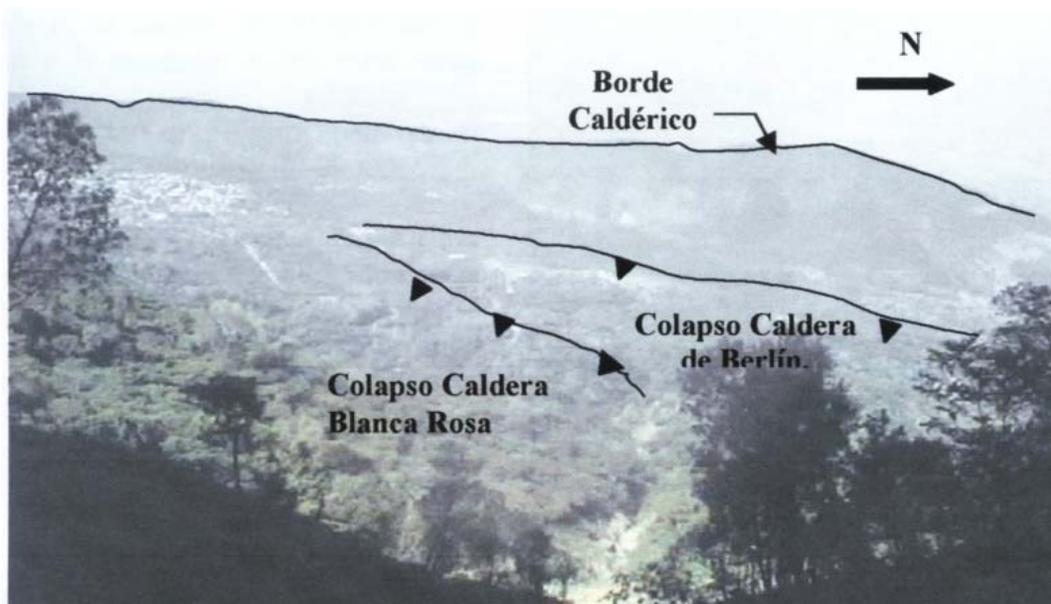
Las principales estructuras tectónicas presentes en el campo, se describen a continuación:

##### Bordes Caldéricos

Los bordes caldéricos en la porción sur, tanto de la caldera de Berlín como de la caldera Blanca Rosa no son visibles, a diferencia de la parte E y O, donde la caldera de Berlín se encuentra geomorfológicamente bien diferenciada (Fig. 10).

Para el caso de la caldera Blanca Rosa el borde norte se delimita por algunos rasgos topográficos como el caso de dos cerros alineados en la parte NE de la ciudad de Berlín (cerro El Cerrito y el cerro cerca de la finca El Mango y cerro al este de finca El Plantel, los cuales en fotografías aéreas se observan cierto achatamiento en el extremo sur, de igual forma en el cerro al E de la vuelta de San Juan, se infiere un plano el cual se correlaciona con los anteriores. Otro criterio que se toma en cuenta para el trazo de la caldera Blanca Rosa es el hecho de que a partir de este trazo, hacia el norte, afloran los depósitos pumíceos

del mismo nombre, mientras que hacia el Sur éstos no fueron encontrados.



**Figura 10.** Esquema del borde caldérico de Berlín

### Cráteres

En la parte alta del edificio volcánico se tiene una serie de cráteres en dirección este-noreste, desde los cráteres del cerro Las Palmas, en el suroeste, pasando por el cráter del Cerro Pelón, el cráter el Hoyón, el que aloja a la Laguna de Alegría, hasta llegar al del Cerro Alegría.

### Fallas

Las fallas han sido trazadas con base en evidencias fotogeológicas, alineamientos de fumarolas y zonas de alteración, así como evidencias geomorfológicas y de campo.

Dentro de la zona de estudio se ha definido una falla con rumbo N-S por la cual corre la Quebrada Guallinac y corta el edificio volcánico Tecapa, hasta la Laguna de Alegría, esta falla posiblemente se encuentre activa, ya que en dos puntos se encuentran manifestaciones hidrotermales asociadas a ésta.

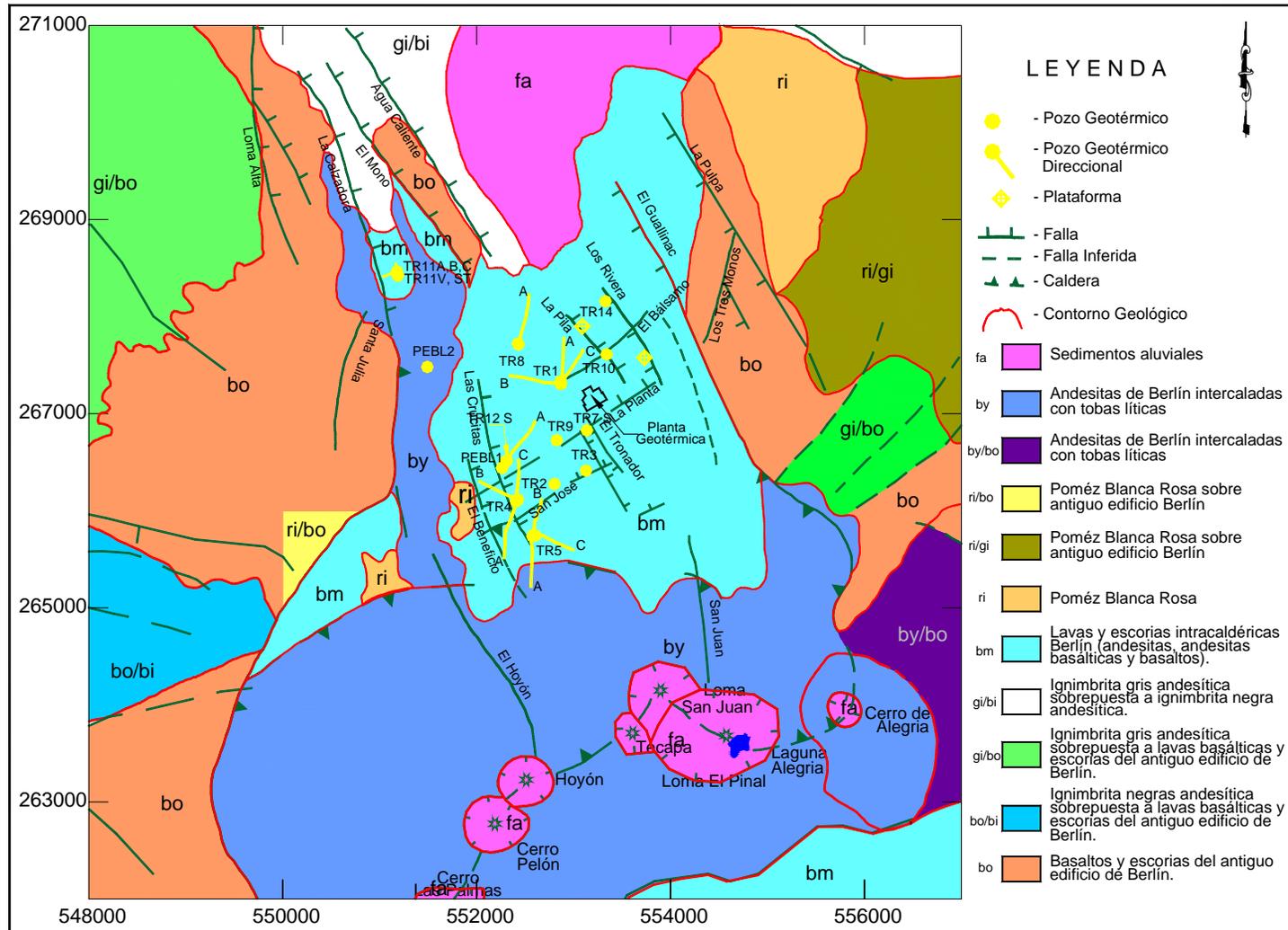
Otras fallas han sido dibujadas en el mapa geológico (Fig. 11) en la parte NE del área, las cuales son circulares al antiguo edificio volcánico de Berlín. En el campo no se observó evidencia de las mismas, pero la profundidad del cauce de las quebradas y su forma lineal permite deducir la existencia de las mismas.

### Diaclasas

Se ha encontrado varios patrones de diaclasas, siendo uno de los principales el sistema que tiene una dirección preferencial Norte-Sur. Por lo anterior, se asume que la dirección principal en que circulan los fluidos subterráneos someros en la parte Sur del campo es esa misma, con algunas variaciones hacia el noroeste y al noreste.

#### 2.2.2 Componente Hidrogeológico.

En la topografía del terreno se pueden observar pendientes de hasta 15% y precipitaciones máximas de hasta 1668 m<sup>3</sup>/año. En esta zona se han identificado tres acuíferos principales, el primero se encuentra desde los primeros metros hasta los 200 m de profundidad constituido principalmente por agua fresca; se encuentran algunos acuíferos calientes colgados cuya circulación se encuentra asociada a lavas fracturadas, los cuales tienen una distribución local ligados únicamente a zonas cercanas a fumarolas. Un acuífero intermedio, constituido por agua caliente con temperatura alrededor de 150 a 200 °C, cuyo espesor depende del espesor de las lavas y en general oscila entre 250 a 700 m, siendo medianamente salino con una concentración de 600 a 1400 ppm de cloruros. Un tercer acuífero se encuentra a profundidades entre los 1800 a los 2500 m, es un acuífero confinado, altamente salino, a una presión estática de unos 120 bares aproximadamente, con unas temperaturas de entre 280 a 300°C el cual es de interés geotérmico para la producción de energía eléctrica.



**Figura 11.** Mapa geológico-estructural del campo geotérmico de Berlín

## 2.3 Ubicación de los pozos a perforar y en proceso de perforación

El campo geotérmico de Berlín se encuentra en proceso de expansión, por lo que se ha iniciado el proyecto Zona Sureste, en los municipios de Alegría y Berlín, del departamento de Usulután (Fig. 12), en un área aproximada de 29 km<sup>2</sup> que corresponde al área de los 2 sitios (por el momento) donde se tiene planificada la construcción de las plataformas para la perforación de los pozos exploratorios profundos.

La ubicación de los sitios propuestos para la perforación de pozos, son los siguientes:

**Tabla 1.** Localización de sitios de perforación

Sitio	Municipio	Altitud (m.s.n.m.)	Coordenadas (proyección cónica conformal de Lambert)
Las Crucitas	Alegría	1080	553420,265200
Beneficio Santa Fermina (Caserío Los Cañales)	Berlín	920	551600, 265135

Fuente: "New Drilling Pads for Geothermal Wells in the Berlín Area-Second Development", EnelGP-GESAL, Julio 2002, Italia

El proyecto se planea desarrollar en dos etapas, las cuales son:

**ETAPA I:** Perforación de 4 pozos exploratorios profundos (2,300 a 2,500 m); 2 con opción como productores y 2 con propósitos para reinyectar el agua geotérmica residual; los estudios geocientíficos superficiales, sugirieron 5 sitios alternativos localizados en la zona sureste del área concesionada, de estos sitios los que reúnen mejores condiciones técnicas y ambientales son Las Crucitas y el Beneficio de Santa Fermina, para pozos productores considerando, que desde esos puntos se alcanzarán los objetivos de perforación previstos.

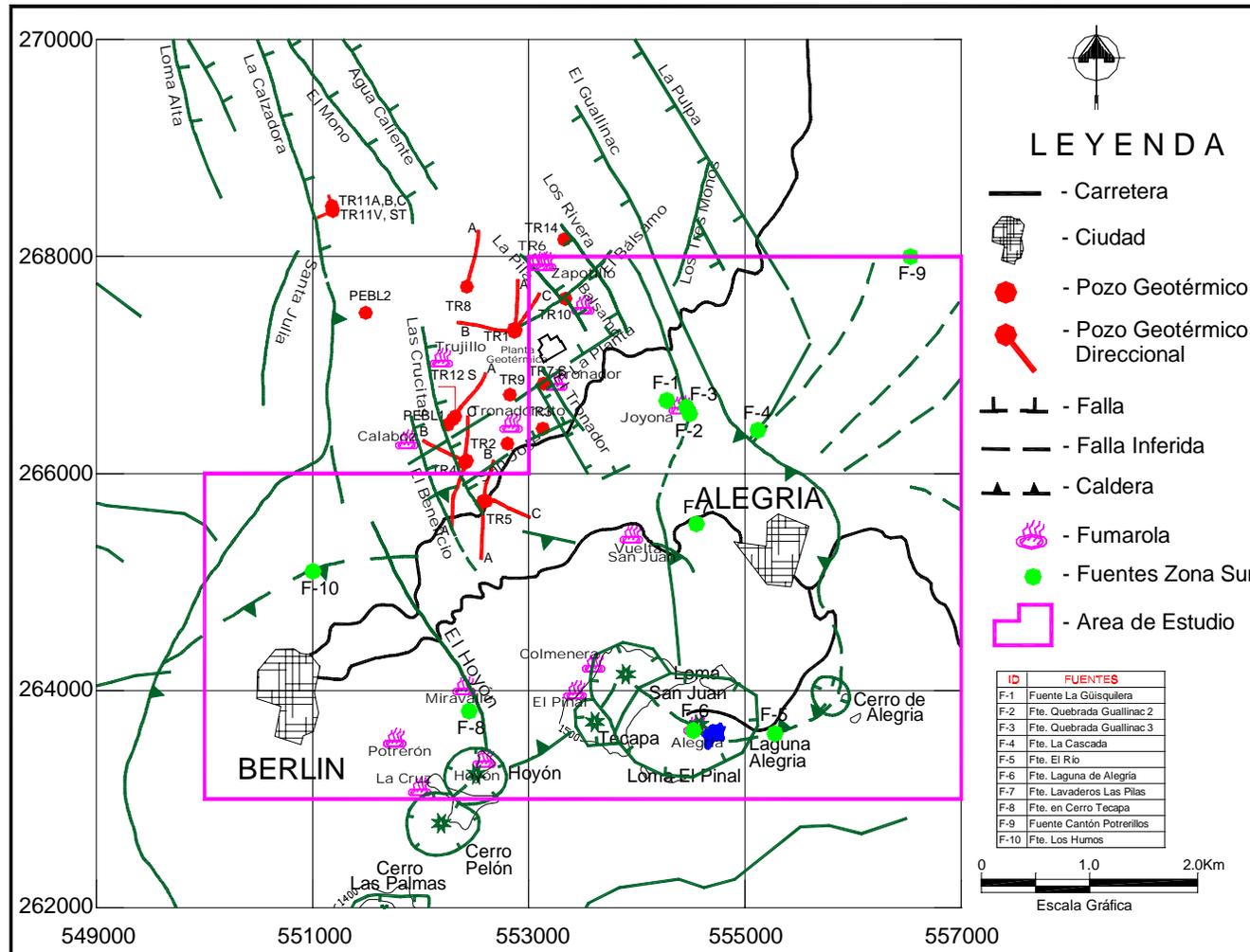


Figura 12. Mapa de localización de la zona Sureste del Campo geotérmico de Berlín, Usulután

Para acceder a los sitios propuestos, se requerirá de ampliar caminos secundarios y construir plataformas de perforación con dimensiones de alrededor de 60x90 m<sup>2</sup>.

La explotación geotérmica, siempre conlleva un riesgo de éxito o fracaso en la perforación de pozos, por ello, si en esta primera etapa los pozos son fallidos éstos serán abandonados para los propósitos para los que fueron construidos, no obstante la infraestructura servirá para monitorear la presión del reservorio, importante para evaluar el comportamiento del campo geotérmico. Si los resultados de la perforación son satisfactorios para la empresa, se procederá a realizar la segunda etapa, que comprende las siguientes acciones:

**ETAPA II:** Consiste en completar en cada plataforma existente de 2 a 4 pozos adicionales, tanto productores como reinyectores. Paralelamente, se realizarán las conexiones respectivas a la Central y pozos reinyectores, a través de tuberías de acarreo de vapor y agua residual; finalmente, el montaje de la tercera unidad y complementarios que permitirá lograr la meta de los 28 MW adicionales para la Central Geotérmica Berlín.

### 2.3.1 Hidrología

En la zona de influencia de los sitios de perforación se presentan partes de varios sistemas hidrográficos independientes que constituyen el sector alto de la microcuenca del Río San Simón o Santa Anita, el cual funge como una importante área hidrogeográfica de interés para los municipios de Alegría, Berlín y Mercedes Umaña. En la figura 13 puede observarse la red de drenajes naturales del área. La situación hidrológica para cada sitio se presenta a continuación:

#### a) Sitio Las Crucitas

En el área de influencia del sitio denominado como Las Crucitas se identifican drenajes principales independientes que conforman las quebradas de la Loma Los Novios y San Julián. Estas quebradas fluyen de sur a norte y de sur a noroeste. El sistema fluvial es radial y en el área de influencia sus tramos son cortos con poca área de recogimiento.

Las aguas lluvias que se recogerían dentro de la plataforma de perforación del Sitio Las Crucitas, tendrían como punto de descarga el drenaje natural localmente conocido como la Quebrada de San Julián, ubicada a unos 100 m al norte, exactamente en el desvío hacia el Caserío Las Crucitas. Este drenaje posteriormente se conecta a la Quebrada la Loma de Los Novios atravesando la carretera pavimentada que une a las poblaciones de Berlín y Alegría y posteriormente con la Quebrada Plan del Ríto.

#### b) Sitio Beneficio Santa Fermina

En el radio de influencia del sitio Santa Fermina, se han identificado dos drenajes: a unos 400 m al este del sitio, la quebrada que se denomina El Hoyón aguas abajo conocida como El Tigre o Agua Caliente y a unos 500 m al oeste, un ramal de la quebrada La Quebradona conocida también como Los Yánez; las cuales fluyen de sur a norte hacia el río Santa Anita o San Simón. Las quebradas en mención presentan a la altura del sitio, un amplio ancho superior y un mediano ancho inferior y poseen alturas de taludes significativas; es decir, son encajonadas con tiempos de concentración cortos de 20 a 25 minutos y crecidas máximas que varían de 9 a 12m<sup>3</sup>/s.

En las proximidades del sitio de perforación Santa Fermina no se identifican fuentes naturales de agua para el consumo humano.

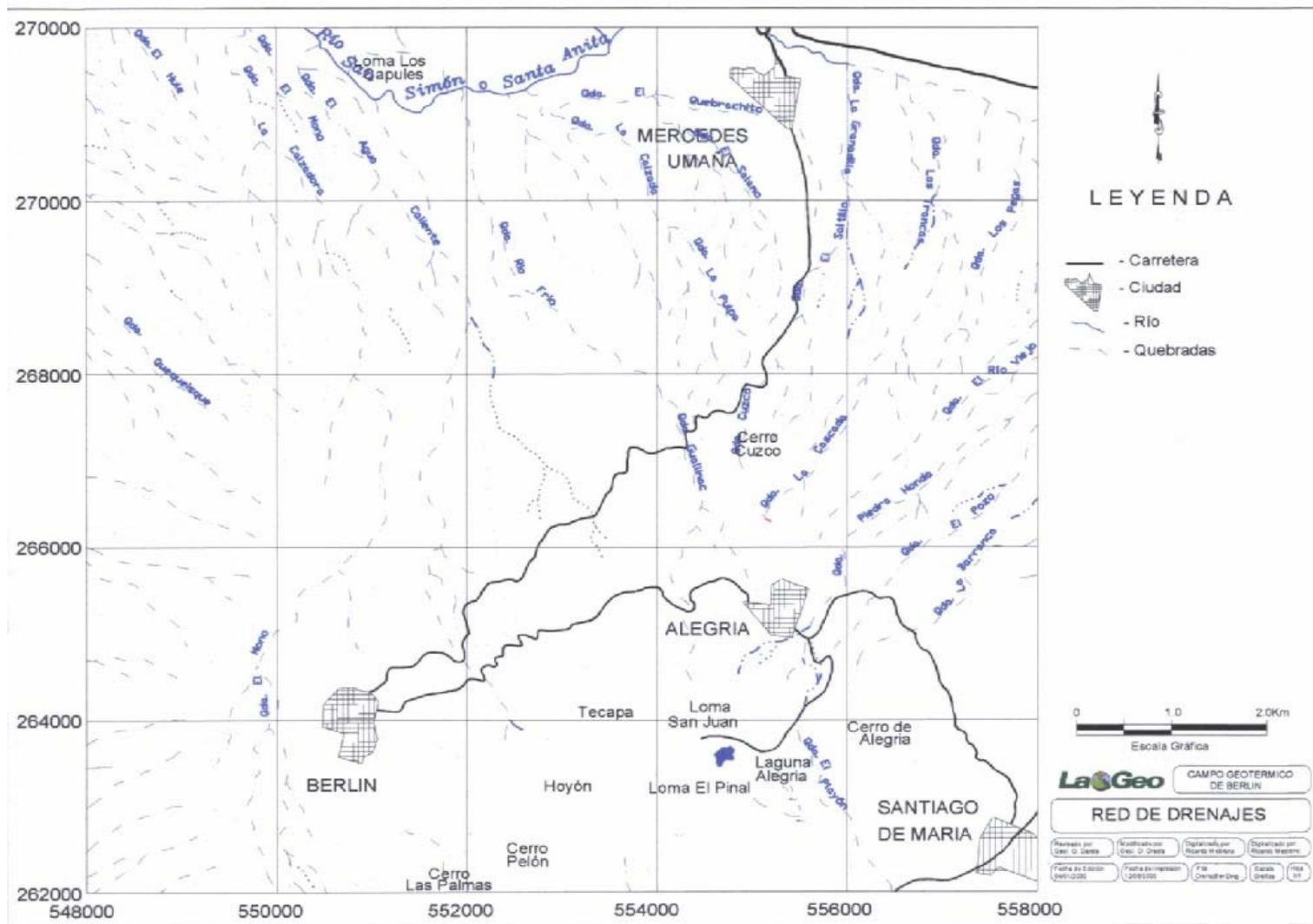


Figura 13. Red de drenajes del Campo Geotérmico de Berlín

### 2.3.2 Geología

Los edificios volcánicos del área son del Neógeno Cuaternario, en los que se destacan los cerros: El pelón, laguna de Alegría (Complejo Volcánico Berlín Tecapa), El Taburete, Usulután, La Manita, El Tigre y Oromontique. Estos edificios conforman una estructura semicircular debido a los productos piroclásticos y detríticos que los circundan.

La evidencia superficial que existe en el área de Berlín, muestra que la actividad volcánica dio inicio hace aproximadamente 1.4 millones de años con la formación de un edificio volcánico antiguo denominado Volcán Berlín, hasta llegar a la actividad más reciente que comprende la formación de pequeñas estructuras cratéricas, tales como El Hoyón. Se tiene conocimiento que la actividad finaliza hace aproximadamente 700 años, siendo durante toda la evolución de carácter andesítico con eventos continuos de tipo efusivos y explosivos.

Los estudios fotogeológicos y geológicos de campo en el área del Campo Geotérmico de Berlín, se han identificado cinco sistemas de fallas, además de manifestaciones hidrotermales en el cráter de los volcanes y en topografías escarpadas; se han identificado 8 fumarolas a lo largo de la cadena volcánica las cuales son mostradas en la tabla 2.

**Tabla 2.** Ubicación de fuentes y fumarolas en zona sur del área geotérmica de Berlín

FUENTES Y FUMAROLAS	TEMPERATURA (°C)	CONDUCTIVIDAD (µS)	pH	UBICACIÓN		ELEVACION (m.s.n.m.)
				Horizontal	Vertical	
Fuente en güisquilera (Sr. Miguel Ángel)	36	390	6.49	13°31'10	88°29'55	856
Fuente Guallinac (arriba quebrada)	24	430	6.83	13°31'06	88°29'48	911
Fuente Guallinac (abajo)	24.5	424	6.90	13°31'08	88°29'49	835
Fuente La Cascada (Cerro El Cuzco)	23.5	418	7.07	13°31'01	88°29'27	970
Fuente El Río (cerca Cantón y Crío San Juan)	21	460	7.29	13°29'30	88°29'22	1200
Fuente A orilla Laguna de Alegría	69	1602	1.74	13°29'31	88°29'56	1292
Fuente Las Pilas del Barrio Guadalupe	22	534	6.75	13°30'33	88°29'46	1147
Fuente Cerro Tecapa	21	444	7.38	13°29'37	88°30'56	1207
Fuente Abajo tanque agua Cantón Potrerillos	23	349	6.77	13°31'53	88°28'40	595
Fuente En finca Los Humos (Quebrada El Anono)	36	499	6.82	13°30'19	88°31'44	606
Fumarola Vueltas de San Juan	88			13°30'03	88°30'26	1137
Fumarola aprox. 20 m arriba de la anterior	90			13°30'26	88°30'02	1137
Fumarola de los Rivera (desde pozo TR-10)	52			13°31'44	88°30'31	535
Fumarola entre el TR-10 y TR-7, arriba	80.2			13°31'46	88°30'31	518
Fumarola entre el TR-10 y TR-7, abajo	98.6			13°31'47	88°30'31	507
Fumarola (Cerro Pelón)				13°29'15	88°31'10	1403
Fumarola en Finca el Pinalito	74.8			13°29'43	88°30'25	1404
Fumarola en el Caserío La Corriente	90			13°30'49	88°30'22	936

FUENTE: "New Drilling Pads for Geothermal Wells in the Berlín Area-Second Development", EnelGP-GESAL, Julio 2002, Italia

## **CAPITULO III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PERFORACION**

### **3.1 Generalidades**

Existe en general la perforación por percusión y la rotativa. Esta última, como su nombre lo sugiere, aprovecha el efecto de la rotación de una herramienta para cortar la roca y es la más utilizada, particularmente cuando se trata de profundidades grandes. En estos días ya no solamente se hacen pozos rectos, sino también inclinados y aún curvos, lo cual se conoce como perforación direccional.

Para los pozos de muy poca profundidad que penetran en campos de agua caliente puede usarse la antigua perforadora de cable. Esta rompe la roca por percusión, causada por la alternada elevación y caída de una broca pesada de martillo cilíndrico. La roca triturada se mezcla luego con lodos de agua y se extrae con cubetas.

Los equipos de perforación son un sistema "telescópico"; es decir, una sucesión de agujeros cada vez de menor diámetro a medida que aumenta la profundidad (cambios discretos, no en forma continua).

#### **3.1.1 Contrapozos**

Antes de comenzar las operaciones de perforación por rotación es necesario construir un contrapozo de concreto de aproximadamente 3 m x 2.4 m x 3 m de profundidad en medidas interiores, que servirá para soportar el peso del equipo de perforación y más tarde para alojar las válvulas del cabezal y el molinete. Una escalera de concreto sirve normalmente de acceso a este contrapozo, el cual cuenta también con medios de desagüe (por gravedad, siempre que sea posible). Debe inyectarse una lechada cementante de consolidación en el terreno circundante, cuando éste está formado por roca pumicitica u otras formaciones débiles, en un diámetro de alrededor de 18.3 m y a profundidades que varían desde 15.2 m en el perímetro del área

cementada hasta 30.5 m abajo del contrapozo. Esta pasta o lechada cementante no sólo sirve para soportar el contrapozo sino que puede servir también para desviar, alejando del cabezal, cualquier vapor que pudiera ascender accidentalmente a la superficie a lo largo del exterior del pozo y su revestimiento: tales escapes de vapor ocurren, aunque afortunadamente son raros, y la lechada de consolidación aporta un grado de seguridad pues desvía la siguiente emisión espontánea a suficiente distancia del contrapozo como para no poner en peligro el acceso a éste. La lechada de consolidación aumenta de 5 a 10% el costo de un pozo, pero esta cantidad puede considerarse como un seguro valioso.

### 3.1.2 Diámetro óptimo de los pozos

Es importante que el diámetro de un pozo no sea ni demasiado pequeño ni demasiado grande. Un pozo demasiado pequeño habrá de restringir la producción de fluido ofreciendo una alta resistencia de fricción a su flujo ascendente. Un pozo demasiado grande, por otra parte, es muy costoso y toma mayor tiempo su perforación, por lo que representa un riesgo financiero excesivo en vista de la posibilidad (que nunca está enteramente ausente) de que el pozo pueda dejar de ser productivo después de un período de servicio relativamente corto, o bien que resulte improductivo desde el principio. Además, en un campo húmedo, un pozo grande podría llegar a una formación —permeable, pero de alta resistencia al flujo— incapaz de producir un gasto sostenido de fluido geotérmico contra la gran masa de agua que tendería a llenar el pozo, lo cual ocasionaría que éste se enfriara. Teóricamente existe un diámetro de pozo óptimo que es una función de la resistencia al flujo dentro del pozo mismo, la resistencia al flujo dentro de la formación permeable desde la cual se alimenta el pozo de fluido, del costo del pozo. De la relación probable de éxito en cuanto a la obtención de pozos productivos

y del valor que se asigne al fluido o a los fluidos geotérmicos al obtenerlos. Este diámetro óptimo se resiste más o menos al cálculo y no puede determinarse con claridad ni aun empíricamente en una etapa temprana del desarrollo: Tiene que escogerse con la ayuda de los resultados obtenidos de los primeros pozos productores. Al principio es aconsejable perforar pozos de diámetro más bien moderado, e incrementar el tamaño si y cuando los resultados indiquen que se justifica hacerlo. Aunque la selección óptima de diámetro del pozo debe depender en cierto grado de la calidad o humedad del fluido las cifras que aparecen en la tabla 3 pueden tornarse como relativamente típicas de los tamaños óptimos de pozos.

**Tabla 3.** Guía para tamaños óptimos de pozos

Flujo de vapor (ton/hora)	Diámetro de pozo (pulgadas)	Diámetro tubería de revestimiento d.e. <sup>1</sup> (pulg.)	Clasificación del revestimiento
10 – 25	17	13 3/8	De superficie
	12 1/4	9 5/8	Intermedio
	8 5/8	7	De producción
	6 1/4	4 1/2	Revestimiento ranurado
25 – 50	18	16	De superficie
	14 3/4	11 3/4	Intermedio
	10 5/8	8 5/8	De producción
	7 5/8	6 5/8	Revestimiento ranurado (d.e. de acople rebajado 1/16 pulg.)
50 – 80	22	18	De superficie
	17	13 3/8	Intermedio
	12 1/4	9 5/8	De producción
	8 5/8	7	Revestimiento ranurado

Fuente: Matsuo, K. (1973) "Drilling for geothermal steam and hot water"

<sup>1</sup> d.e.: Diámetro externo.

### 3.1.3 Fases del proceso de perforación

La construcción de un pozo geotérmico y para el caso, se hace en cuatro etapas con diferentes diámetros de agujero y tubería de revestimiento, en nuestro país se ha implementado un nuevo diseño, y las especificaciones se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4.** Diámetros de agujero y de tubería por etapa

<b>Etapa</b>	<b>Diámetro de agujero</b>	<b>Diámetro de tubería</b>
1	32" - 26"	24 1/2" - 20"
2	23" - 17½"	18 5/8" - 13 3/8"
3	17 ½" - 12¼"	13 3/8" - 9 5/8"
4	12 ¼" - 8½"	9 5/8" - 7 5/8" o 7"

Cada etapa de la perforación se describe con más detalle a continuación:

#### *Etapa 1:*

Una broca de 26 pulgadas de diámetro, abre el agujero inicial hasta unos 20—50 metros de profundidad. La roca triturada se saca del agujero en forma continua mediante el "lodo" de perforación que se inyecta por el interior de la sarta, llega al fondo del agujero y retorna hacia arriba (por el espacio anular que queda entre el exterior de la sarta y el agujero previamente perforado), acarreado en suspensión la arena o recortes de roca. El lodo funciona en un circuito cerrado por largos períodos; es decir, siempre se vuelve a inyectar después de filtrar en la superficie los recortes acarreados y de restituir sus propiedades reológicas (principalmente viscosidad y densidad). Los cambios completos ocurren cuando hay altas "pérdidas" del lodo en la "formación" (roca de las paredes del agujero) o cuando las propiedades principales ya no pueden ser restituidas.

A este agujero de 26" se le colocan después los tubos de acero que servirán de "tubería de ademe" (tubería de revestimiento) y deberán ir cementados a las paredes del pozo. Estos tubos son, en este caso, de 20" de diámetro y unos 12 metros de longitud cada uno. Se instalan enroscándolos uno a uno en superficie con ayuda del equipo de perforación, hasta alcanzar la profundidad total a revestir.

La cementación se hace con un procedimiento similar al del acarreo de recortes; es decir, inyectando el cemento con otras bombas especiales desde arriba por el interior de la tubería de revestimiento, y luego desplazándolo hasta que sale arriba por el espacio anular entre el exterior de la tubería de 20" y el agujero de 26". Operaciones especiales de cementación se dan cuando el cemento se pierde en la formación y no hay el retorno esperado. La cantidad de cemento se calcula para el espacio anular a llenar dejando un margen adicional por el cemento que se puede perder en la pared del agujero. "Pérdidas", un término muy empleado en perforación, tiene aquí el significado de problemas.

Después de terminar el desplazamiento de cemento se deja un lapso de entre unas 8 a 24 horas para el fraguado de éste. A la zona del extremo inferior de la tubería de revestimiento que se colocó, se le llama "zapata" (en todos los casos), por lo cual estas "zapatas" conllevan el significado general de "cambios de diámetro" (Fig. 14).

#### *Etapas 2:*

El siguiente tramo a perforar puede ser del orden de unos 300 a 500 metros. A fin de poder entrar al agujero, se debe usar ahora una barrena de menor diámetro que la tubería de revestimiento precedente; típicamente una broca de 17 1/2". Con esta broca se perfora primero el cemento que todavía hubiere quedado un poco arriba de la zapata al interior de la tubería de 20" (puesta antes) y luego se repite,

prácticamente igual, el proceso de “perforación de formación” o “perforación de agujero” hacia abajo de la zapata de 20” de diámetro.



**Figura 14.** Zapata, en el inferior de la tubería de revestimiento

En este caso, la roca triturada sube un primer tramo por el espacio anular que hay entre la sarta de perforación y el agujero de 17 1/2"; y otro tramo final, por el espacio anular entre la sarta y la tubería de revestimiento anteriormente colocada.

Cuando se perfora este tramo es normal que aparezca (o descienda si ya había antes), un nivel estático de agua en el interior del pozo, que refleja el nivel piezométrico del (o los) acuíferos interceptados. En nuestras áreas geotérmicas este nivel del agua propia del pozo se encuentra usualmente a partir de unos 200 a 300 m de profundidad.

La tubería de revestimiento que se usa para este diámetro de agujero, es normalmente de 13 3/8" de diámetro. Después se realiza la cementación correspondiente.

Si es el caso que la capa sello del reservorio ha sido ya atravesada (estamos en 400-500 m de profundidad) y por lo tanto lo que se espera encontrar subsecuentemente es el reservorio, entonces esta tubería de

revestimiento que se acaba de colocar funcionará como tubería de producción; de lo contrario sería todavía una “tubería de anclaje”.

Se va a suponer aquí que aún falta 1 kilómetro de perforación para atravesar la capa sello.

### *Etapas 3:*

Se reinicia la perforación de agujero ahora con un diámetro de barrena de 12 1/4” (debe ser menor que los 13 3/8” de la tubería de revestimiento previa). Los procedimientos de perforación y cementación son básicamente los mismos que antes; pero a estas profundidades, y debido a las condiciones existentes en el entorno y que someten al equipo de perforación utilizado, surgen normalmente algunos problemas adicionales:

- Hay necesidad de controlar el funcionamiento de la sarta de perforación en cuanto a sus puntos de flotación y otros elementos de control mecánico e hidráulico. El fluido de perforación por su parte demanda cada vez mayores potencias para realizar su función
- Las pérdidas de fluido de perforación se tienen que sellar ahora con mayores dificultades y tiempos de maniobra. La cementación completa de tubería de revestimiento puede requerir otros procedimientos muy especiales.
- Las temperaturas del agujero son mayores, crecientes siempre con la profundidad hacia valores en el rango de 200 a 300 °C. Esto conlleva al menos que se requieren equipos preventores ante las posibilidades de erupción del pozo y el uso más frecuente de aditivos químicos para mantener las propiedades reológicas del lodo de perforación.

- Se requieren materiales más resistentes a la abrasividad o dureza de las rocas y también mayores cuidados para que las paredes del agujero perforado no se derrumben. Es también más necesario controlar y enmendar la verticalidad del pozo.
- Cuando las formaciones son muy inestables, es necesario reperforar un mismo tramo varias veces, sellar las “pérdidas” (zonas permeables donde se fuga el fluido de perforación) mediante inyecciones de cemento y materiales obturantes, etc.

La tubería de revestimiento normalmente empleada en este agujero es de 9 5/8” de diámetro. En este ejemplo, ésta sería la “tubería de producción del pozo”. Después se da la cementación de ésta, que en este caso cubre desde la superficie hasta unos 1500 m de profundidad.

#### *Etapas 4:*

La perforación del “estrato reservorio” se realiza ahora con una barrena de 8 1/2” (menor que los 9 5/8” de la tubería de producción).

Debido a que se trata del reservorio, por definición permeable y de alta temperatura, los procesos son más delicados. Las “pérdidas” de fluido de perforación que antes tuvieron el mensaje de problemas, ahora tienen el carácter de solución o éxito, puesto que representan el hallazgo de uno de los dos elementos más importantes del reservorio: la permeabilidad (el otro es la elevada temperatura).

En vez de “sellar pérdidas”, ahora se trata de “perforar con ellas” de tal manera de no reducir las, o de ser posible incrementarlas artificialmente (“fracturamiento hidráulico” que se puede lograr a veces con inyecciones de agua a elevadas presiones)

A partir del momento en que se encontró permeabilidad, con “pérdidas totales”, el lodo de perforación se reemplaza por agua natural como fluido de perforación, tanto para evitar que el lodo disminuya la

permeabilidad de la formación como por razones económicas. Debido a estas pérdidas totales del fluido de perforación, no podrá haber más recortes de roca triturada en la superficie.

Si se desea conocer la litología que se está perforando, es necesario tomar "testigos"; núcleos cortados siempre por rotación, pero con una herramienta hueca especial de unas 3 a 4 pulgadas de diámetro y unos 4 metros de largo que lo colecta en su interior a medida que lo corta. Normalmente estas muestras no se logran extraer si no es en pedazos de varias pulgadas de longitud; pero la información que de ellos se obtiene es siempre más completa y confiable que la de una muestra triturada.

Llevado el agujero hasta la profundidad final, la cual se establece a partir de las diferentes observaciones y mediciones de temperatura, presión, permeabilidad, quimismo del fluido, mineralogía, etc., las paredes del pozo ya no se cementan, sólo se protegen ante eventuales derrumbes instalando una tubería con ranuras. Esta "tubería ranurada" permite el paso del fluido y partículas finas, pero no de materiales sólidos grandes de las paredes del pozo.

Las tuberías ranuradas, a diferencia de las de revestimiento, no se instalan hasta la superficie, sino que se "cuelgan" del extremo inferior de la tubería de producción con un dispositivo especial (llamado "colgador"). El otro extremo de la tubería ranurada puede o no hacerse llegar hasta el fondo del pozo. Todas las etapas anteriores pueden observarse en la figura 15.

Lo que se hace finalmente es ponerle al pozo una válvula maestra en el extremo superior de la tubería de producción (típicamente de 10 pulgadas, aunque en algunos casos puede ser de mayores dimensiones), a fin de controlar su futura operación. En la práctica, la

válvula maestra se instala con otras válvulas y arreglos mecánicos, que por su forma en conjunto se le suele llamar "árbol de cabezal" o simplemente "cabezal".

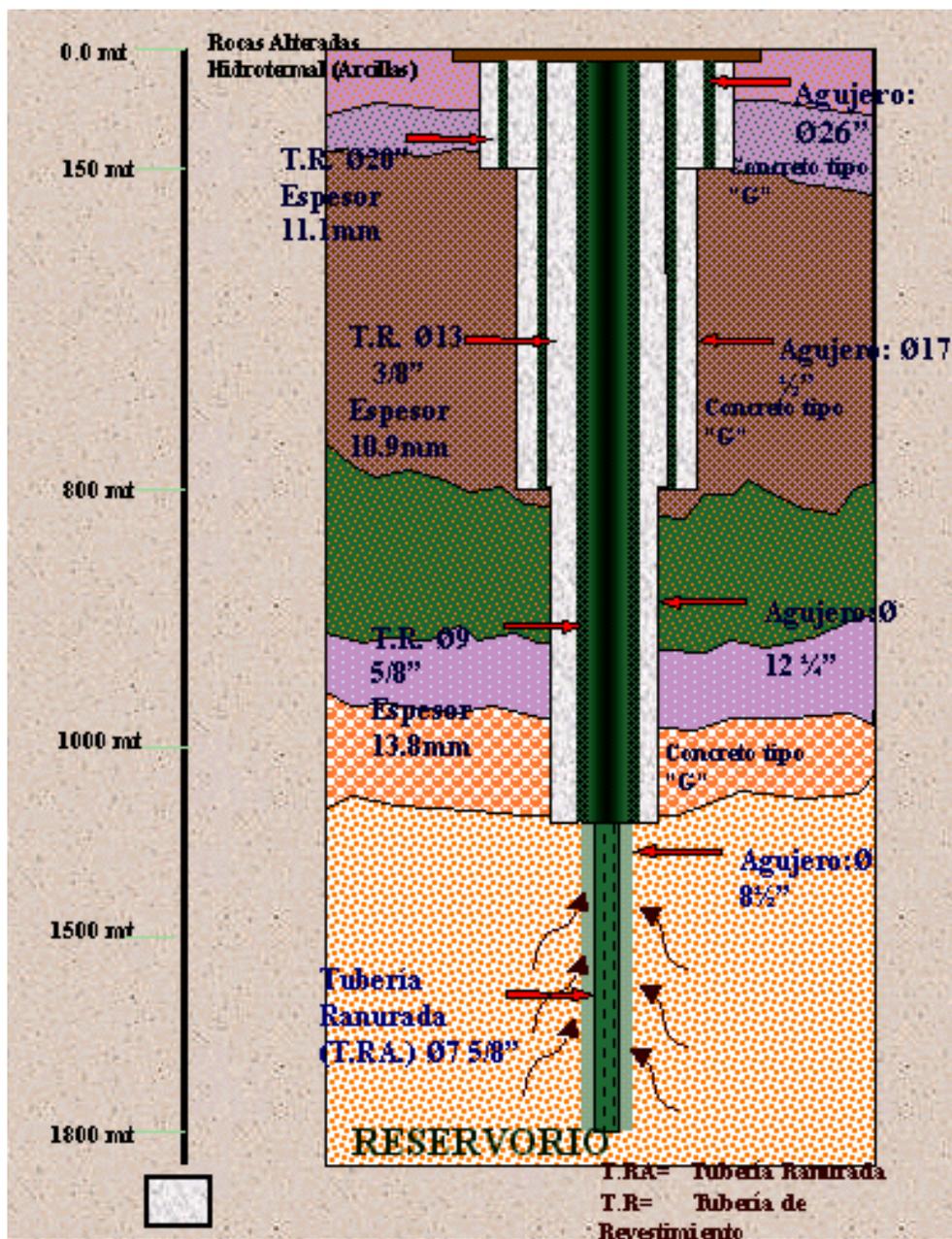


Figura 15. Secuencia de perforación de un pozo

#### 3.1.4 Fluidos de perforación

El objetivo primordial de un fluido de perforación es promover seguridad y velocidad de perforación y completación de un pozo a un mínimo costo.

Antiguamente, según se comentaba, se pensaba que en la perforación rotatoria, la función primaria del fluido de perforación consistía en llevar el material recortado del fondo del agujero a la superficie, pero se ha comprobado que el fluido tiene las siguientes funciones de mucha importancia:

- Remueve los recortes del fondo de pozo y los trae a la superficie.
- Enfría y lubrica la barrena y tubería de perforación.
- Controla la presión subterránea.
- Estabiliza el agujero perforado.
- Previene pérdidas excesivas del fluido de perforación.
- Mantiene en suspensión los recortes cuando se suspende la perforación.
- Transmite potencia hidráulica a la barrena.
- Limita la corrosión del equipo de perforación.
- Minimiza efectos adversos en formaciones productivas.
- Dan flotabilidad a la sarta de perforación (arena y recortes, reduce peso).

Los lodos descargados por la parte superior de un pozo, a su retorno, se criban para separar los recortes de roca, y se hacen pasar a través de una torre de enfriamiento (ayudada por tiro forzado si hubiera necesidad) antes de ser bombeados de nuevo al pozo para su recirculación. Generalmente es posible lograr el enfriamiento en magnitud de 10 a 15 °C con una torre de enfriamiento, utilizando un tiro natural, si bien esto depende del clima local: con ayuda de un ventilador

el intervalo de enfriamiento puede incrementarse a 20 ó 25°C bajo condiciones típicas.

Como alternativa del lodo se utiliza a veces aire comprimido. La perforación con aire es más barata y más rápida que la perforación con lodo y evita daños posibles a la zona de producción causados por el lodo circulante que entra en ella al perforar. Sin embargo. Este método no puede usarse en formaciones que sean muy húmedas o que tiendan a descostrarse. Una práctica común consiste en usar lodo hasta que se ha colocado en posición la tubería de producción y usar perforación con aire al penetrar en la zona de producción. En la tabla 5 se describen los tipos de fluidos de perforación, sus componentes y su fase continua.

**Tabla 5.** Tipos de fluidos de perforación

<b>Clasificación</b>	<b>Componentes</b>	<b>Fase continua</b>
Lodo base – agua	Sólidos activos, inerte y agua	Agua
Lodo base – hidrocarburo	Sólidos activos, inertes, aceite, agua	Aceite (diesel)
Polvoriento	Solo aire	Aire
Agua brumosa	Aire, agente espumoso, agua	Aire
Lodo aireado	Aire, lodo	Lodo
Espuma rígida	Aire, agente espumante, viscosificante	Fluido espumoso
Agua	Solo agua	Agua

El lodo es forzado hacia abajo a través del vástago hueco de perforación y regresa a la superficie a través de espacio anular que hay en este. Se usan diversos lodos de enfriamiento, los que tienen una densidad mayor que la del agua. Para temperaturas de hasta 150°C son satisfactorios la bentonita u otros lodos preparados a base de arcilla, pero a altas temperaturas, los lodos de este tipo tienden a formar “geles” y el

filtrado tiende a aumentar en cantidad, y es menos el lodo que regresa al recirculado.

Se usan también lodos de lignito/cromo, ligno – sulfato (CL/CLS); estos son alcalinos y contienen una pequeña cantidad de bentonita y trazas de hidróxido de sodio así como un agente antiespumante.

### 3.1.5 Cementación

Es de la mayor importancia que todas las tuberías de revestimiento, con excepción de las perforadas, sean firmemente cementadas en su posición. Esto se realiza inyectando lechada de cemento hacia abajo de la tubería por medio de un tapón que fuerza el flujo de la lechada alrededor del fondo o “zapata” de la tubería de revestimiento, y la hace ascender por el espacio anular circundante hasta que llegue a la superficie.

Clasificaremos la cementación en dos partes que son:

- a) Cementación de pérdidas de circulación
- b) Cementación de tuberías de revestimiento

#### Cementación de pérdidas de circulación

Esta consiste en sellar grietas o cavernas que se encuentran durante la perforación y que no permiten la circulación de fluidos en superficie. Estas pérdidas son naturales y no son provocadas por explosiones y nada por el estilo. Además de lo anterior, el sellado de estas pérdidas contribuye a evitar la contaminación por fuga del fluido de perforación en los mantos acuíferos superficiales que podría haber.

Es necesario aclarar que los mantos acuíferos no son sellados por la cementación, lo que sucede es que se está evitando el paso por el lugar donde se está perforando. El acuífero tiene una extensión mucho mayor por donde tiene su recorrido.

## Cementación de tuberías de revestimiento

Consiste en la inyección de cemento en el espacio anular entre agujero y tubería y/o entre tuberías, el objetivo es dejar fija la tubería en el pozo.

Para la cementación de las tuberías en los pozos geotérmicos se utilizan los métodos siguientes:

### a) Cementación por desplazamiento de tapones

Esta técnica es usada algunas veces para operaciones de cementación superficiales e intermedias. Para esto el siguiente equipo es necesario:

- Contenedor del tapón que permite la liberación del tapón de cemento en el momento adecuado.
- Tapones inferior y superior para minimizar la contaminación del cemento con el lodo.
- Una zapata estándar y el collar flotador.

### b) Cementación por Stab-in

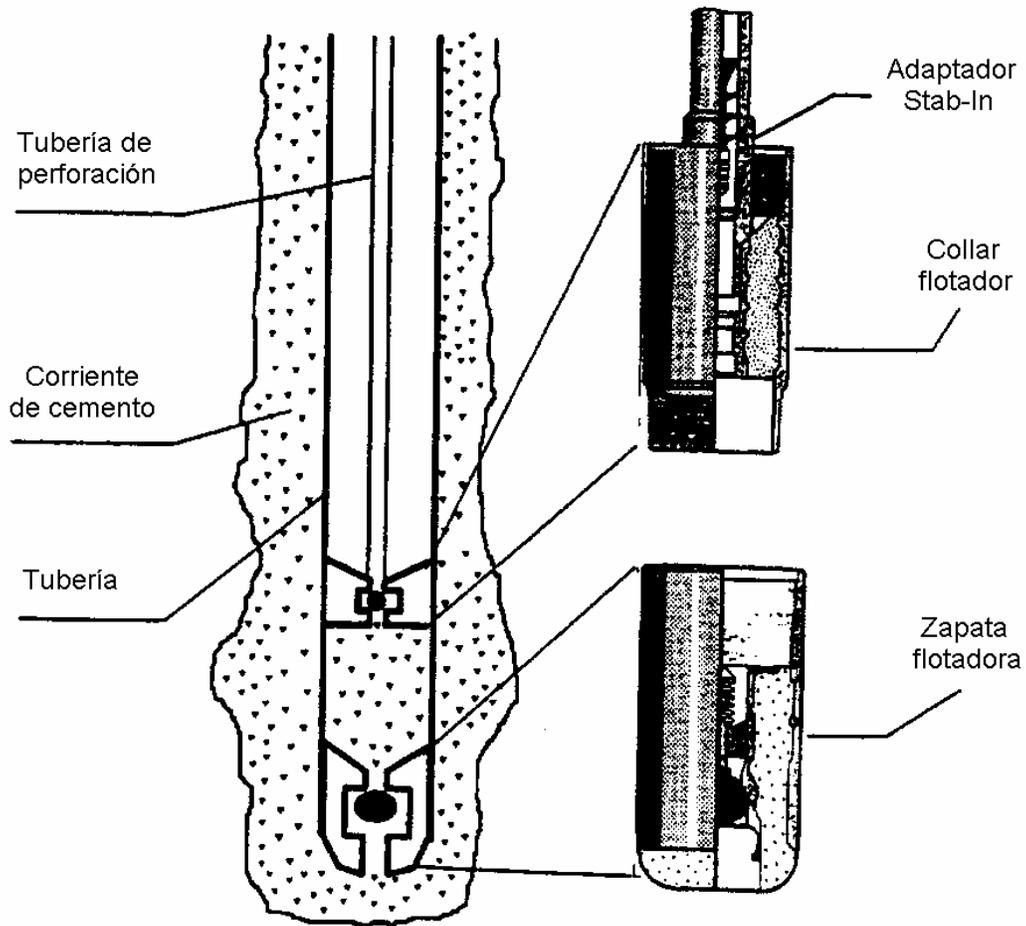
Esta es la técnica más comúnmente usada en la perforación de pozos geotérmicos. El equipo utilizado permite realizar la cementación a través de una tubería de perforación que es insertada y sellada en el collar stab-in.

### c) Cementación de doble etapa

La cementación en múltiples etapas puede ser usada cuando:

- La presión hidrostática del cemento es demasiado grande para la formación o la tubería.
- Es necesario separar diferentes tipos o mezclas de cemento.
- Solo se dispone de un tiempo limitado de bombeo.
- Es necesario cementar solo ciertas secciones.

El equipo flotador que se utiliza en la cementación se ve en la figura 16.



**Figura 16.** Equipo flotador para cementación.

La mezcla de la lechada consiste en:

- Cemento clase "H" ó "G"
- Sílica flúor
- Reductores de fraguado
- Reductores de fricción
- Retardadores
- Antiespuma
- Cal
- Suspensor de finos
- Otros aditivos

Para la inyección de la lechada se utiliza equipos o unidades especiales de alta presión y con recirculadores para preparar la lechada, en estas mismas unidades se controlan los parámetros de densidad, presión de inyección, volumen inyectado y otros.

La lechada es inyectada al interior del pozo a través de tubería de perforación y/o desplazamiento de tapones; para ser alojada entre el espacio anular entre tuberías y agujero.

La lechada por tener productos químicos podría ser contaminante al medio ambiente, esto sucedería si se fluidificara y se tirara deliberadamente.

#### 3.1.6 Apertura del pozo

Con muy pocas excepciones, un pozo recién perforado siempre queda relativamente “frío” en virtud de las múltiples inyecciones de agua y lodo que ha recibido en la perforación. Para que recupere su alta temperatura natural se necesita esperar cierto tiempo (1 a 4 meses en general). Es sólo después de esta recuperación que el pozo puede, en primer término, erigir una columna de vapor por encima del espejo estático de agua, y luego, producir el fluido al abrirlo a la atmósfera. No siempre lo anterior es el caso; tanto la recuperación térmica como la primera actividad productiva se deben, y en general se pueden, estimular artificialmente.

Hay métodos especiales, de diferentes grados de efectividad, riesgo y costo, tanto para estimular una recuperación térmica, como para lograr la primera descarga de un pozo. Esta última, generalmente referida en la semántica geotérmica como *inducción de pozos*, es una necesidad frecuente.

Son varios los métodos los usados para inducir pozos; pero en El Salvador se ha utilizado casi siempre uno de los más sencillos y

económicos, ya que ha dado buenos resultados en la gran mayoría de casos: La técnica de introducir aire para compresionar el pozo (hasta un valor de presión calculado en base a los datos termodinámicos, hidráulicos y mecánicos disponibles hasta ese momento) y, después de un cierto tiempo en el que permite que dicho aire se caliente dentro del pozo, abrirlo a la atmósfera.

La liberación del aire introducido conlleva una despresurización de toda la columna líquida del pozo, cuyo efecto (en razón del comportamiento termodinámico del agua) es provocar el inicio y la generalización del fenómeno de ebullición del líquido. Esto ocurre dentro de un cierto tramo desde el espejo estático hacia abajo. No siempre esta inducción se logra en un solo ensayo y a veces resulta indispensable cambiar método de estimulación.

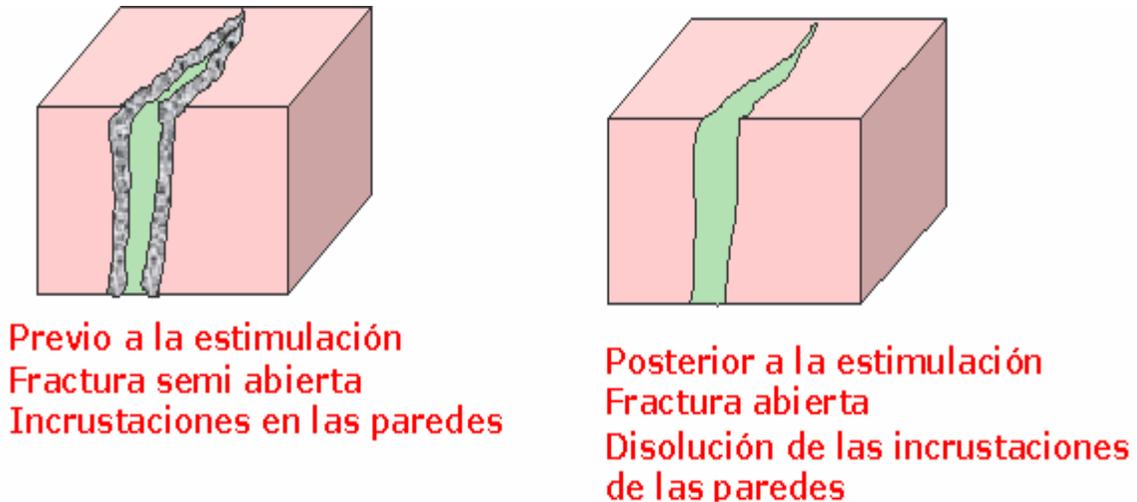
Si a partir de dicha estimulación el pozo se induce; es decir, inicia y mantiene una producción de fluido, se tiene lograda la extracción del recurso geotérmico. El proceso subsiguiente es evaluar la cantidad y calidad del fluido producido, lo cual se hace con instalaciones específicamente diseñadas y construidas en superficie, adyacentes al cabezal del pozo. Es esta evaluación la que permite dictaminar si dicha producción es o no de interés y este interés es siempre relativo a un determinado sistema de conversión de energía.

### 3.1.7 Estimulación de la producción

En ocasiones, la deposición de sílice o de sales calcíticas sobre las paredes del pozo en un campo húmedo da por resultado la declinación marcada de la producción del fluido.

La estimulación de pozos persigue recuperar la permeabilidad de las zonas que presentan daños de formación por inyección de lodos de

perforación o por incrustaciones de minerales de agua de reinyección, esto se esquematiza en la figura 17.



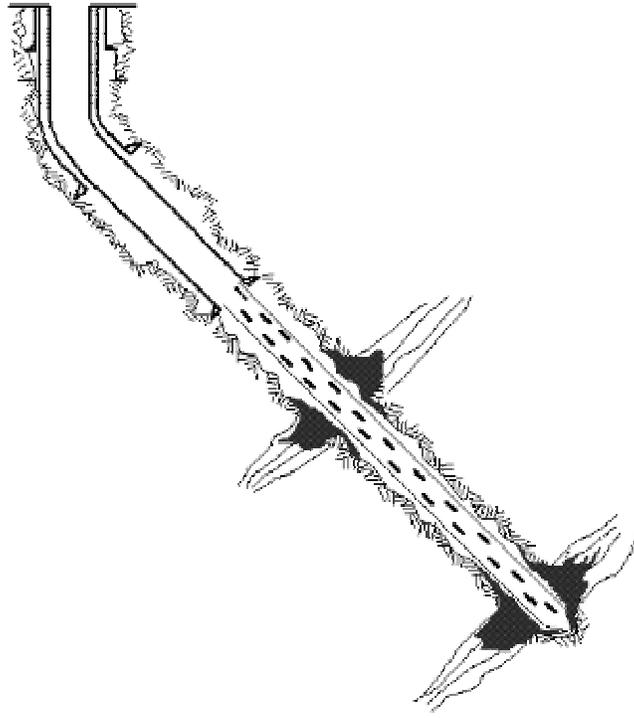
**Figura 17.** Previo y posterior a la estimulación

El procedimiento de la estimulación consiste en seleccionar los pozos candidatos al proceso, para definir:

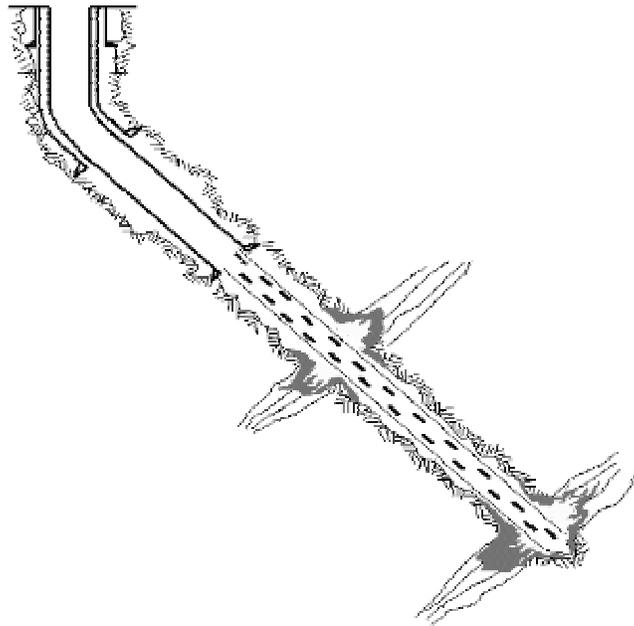
- Daño por ingreso de lodos (Fig. 18)
- Incrustaciones por fluidos de reinyección (Fig. 19)
- Capacidad de absorción/producción

Al definirse el daño de formación y definirse las zonas permeables se inyecta una mezcla formada por:

- Preflujo: HCl al 10% (14.3 galones / m zona permeable)
- Flujo Principal: HCl 10% - HF 5% (21.4 galones / m zona permeable)
- Divergentes: Agentes Espumantes
- Desplazantes: Cloruro de Amonio
- Volúmenes utilizados: 100 a 300 metros cúbicos

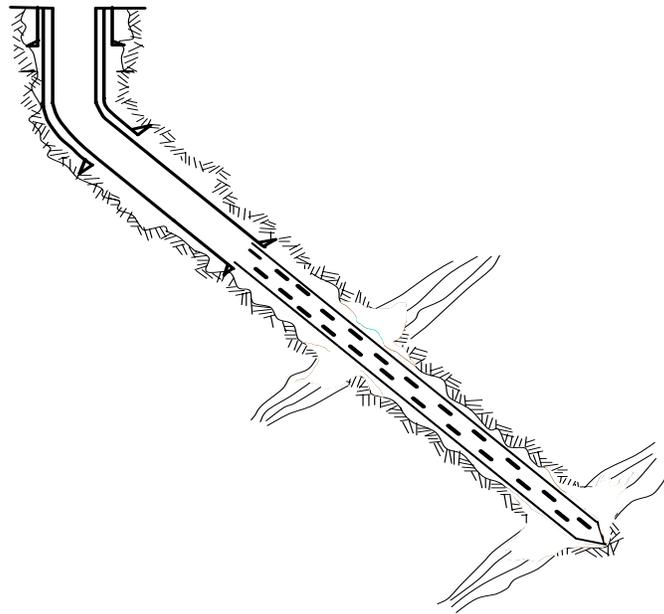


**Figura 18.** Daño del pozo por ingreso de lodos



**Figura 19.** Incrustaciones por fluidos de reinyección

Después de la inyección de la mezcla el pozo recupera permeabilidad (Fig. 20), logrando así aumentar su capacidad de producción y de reinyección.



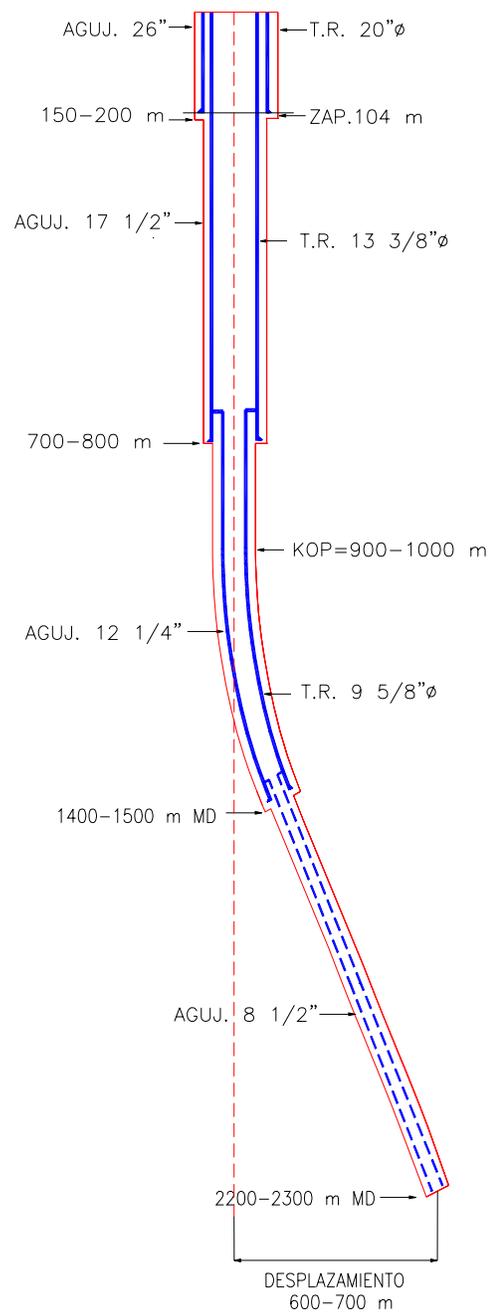
**Figura 20.** Pozo estimulado

### 3.1.8 Perforación direccional

En la industria geotérmica se han adaptado técnicas estándar para producir pozos desviados que no desciende verticalmente. Un pozo direccional se muestra en la figura 21.

La habilidad para perforar un pozo en cualquier dirección que se elija puede ser útil para cumplir con los objetivos siguientes:

- Interceptar fallas verticales, interceptar fallas en lugares donde se hace imposible construir plataforma
- Desde una misma plataforma se pueden perforar varios pozos.



**Figura 21.** Pozo direccional

Con este último objetivo también se evita mayores daños al medio ambiente, ya que se evita construir otras plataformas que provocarían deforestación de las áreas.

Una ventaja indirecta de la perforación direccional sería que se reduciría en forma importante la cantidad de tuberías de recolección en la superficie.

### **3.2 Equipo utilizado en la perforación**

Un equipo de perforación con todos sus accesorios es una instalación bastante elaborada. Primero tiene una alta torre armada, hecha de acero, que se conoce como el mástil, y que contiene un sistema de poleas para colocar y retirar la tubería de perforación y la de revestimiento, de manera que se tenga acceso a éstas para su revisión y para unir sus secciones antes de bajarlas por el pozo. Después se tienen unidades motrices para hacer girar la barrena, para accionar los equipos del mástil e impulsar las bombas auxiliares, el compresor de aire, etc. También se tiene una plataforma para almacenar la tubería de revestimiento y de tubos de perforación listos para unirlos e introducirlos en el terreno; y por último hay un sistema de circulación para bombear, enfriar, cribar, asentar y almacenar el lodo de enfriamiento (Fig. 22).

A continuación se describirán con más detalle la mayoría de los equipos usados en la perforación.

#### **3.2.1 Barrenas**

La herramienta que va abriendo el terreno hacia abajo es una broca o *Barrena* de 3 conos dentados (los dientes son protuberancias sobre el mismo cono, Fig. 23) que además de girar en conjunto, pueden hacerlo sobre su propio eje. El material es acero de la más alta dureza, a veces con "pastillas" de diamante para resistir la abrasividad. Al efecto de cortar la roca hay entonces dos movimientos de rotación combinados simultáneamente.

## Esquema Simplificado de un Equipo de Perforación Rotatorio

- 1 - Mástil
- 2 - Motores
- 3 - Mesa Rotatoria
- 4 - Barra Kelly
- 5 - Tubería de Perforación
- 6 - Barrena
- 7 - Preventor Anular
- 8 - Cemento
- 9 - Bomba de Circulación
- 10 - Circuito Inyección de Lodo
- 11 - Preventor Compuertas
- 12 - Tamiz
- 13 - Tanques de Lodo
- 14 - Tubos de Perforación de Reserva

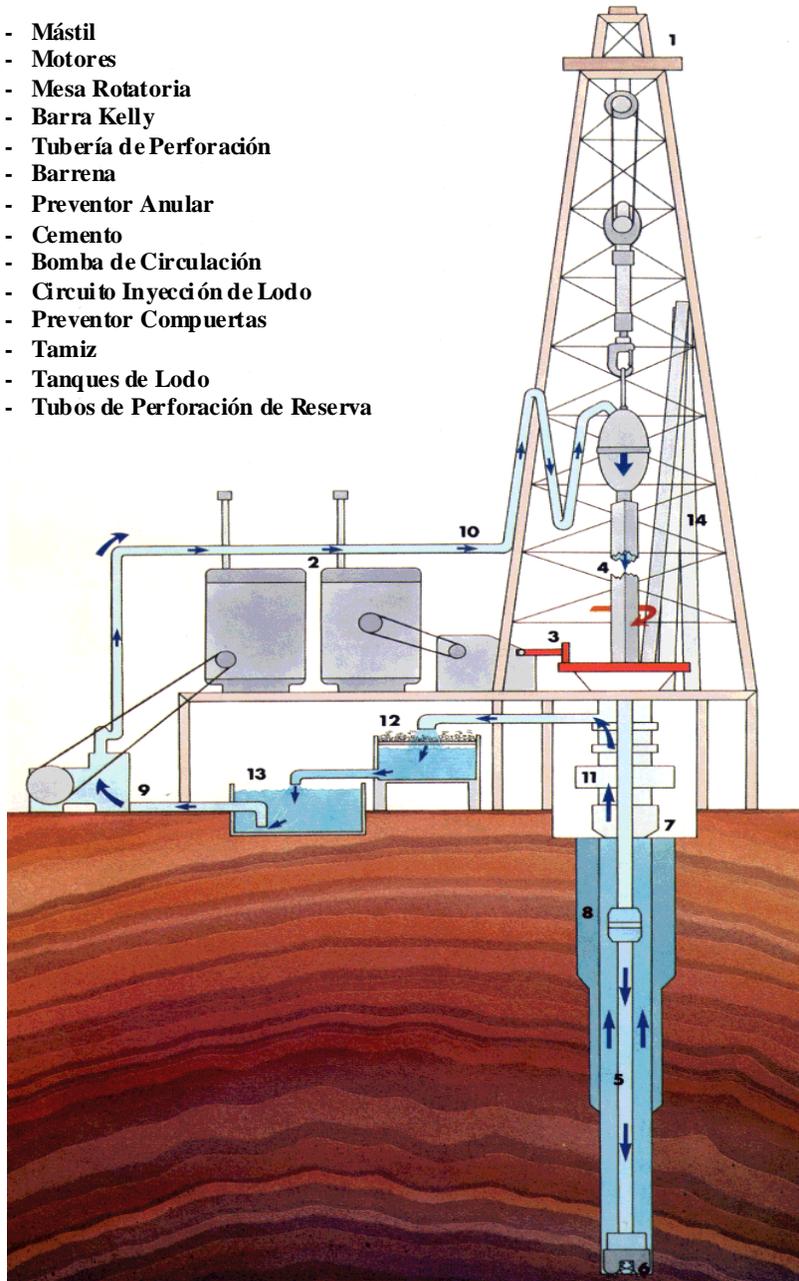


Figura 22. Esquema simplificado de un equipo de perforación

El conjunto completo de la barrena es hecho rotar a través de una sarta de perforación por motores de alta potencia que están en superficie en el equipo de perforación. Esta sarta es una sucesión enroscada de tubos de acero, de diámetros desde 3 a 5 pulgadas y con unos 12 metros de largo cada uno, que se van adicionando a medida que el fondo del agujero cobra profundidad.

Ni la sarta, ni la barrena, son completamente sólidas. Por su interior se hace circular, mediante otro conjunto de bombas de alta potencia, un *fluido de perforación*.



**Figura 23.** Barrenas tricónicas

Existen varios tipos de barrenas de las cuales la más usada es la barrena tricónica, esta se clasifica en barrena de dientes fresados o de insertos de carburo de tungsteno.

Estas tienen las propiedades especiales de: Protección al calibre, sistemas de baleros y los tipos de materiales usados (tungsteno, diamante).

### 3.2.2 Tuberías de revestimiento

Uno de los factores más importantes en la perforación son las tuberías de acero adecuadas para el revestimiento a las profundidades correctas. Se tendrán normalmente hasta cuatro tuberías de revestimiento

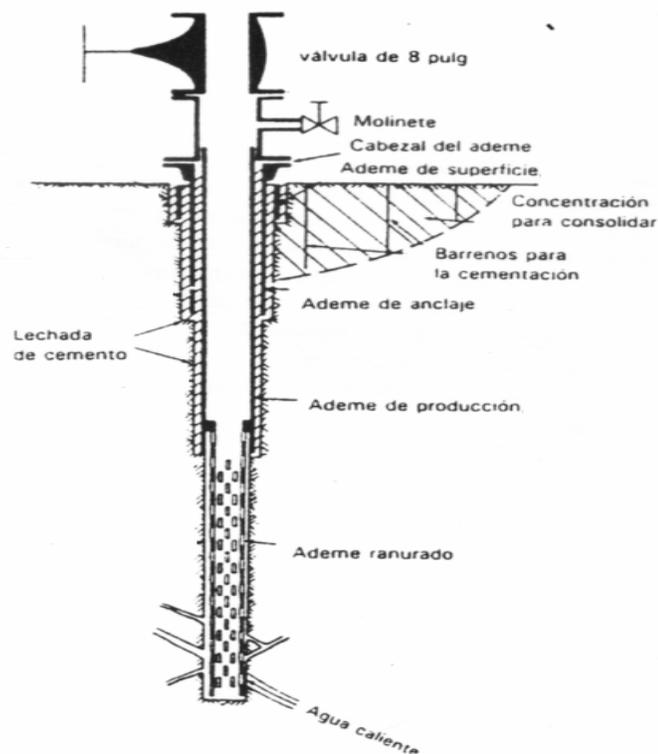
concéntricas en un solo pozo, hechas todas de acero de alta calidad (J55 a normas API por lo general, pero deben usarse tuberías de revestimiento a prueba de ácidos cuando las aguas termales sean intensamente corrosivas). Estas tuberías de revestimiento se fijan rígidamente con cemento a la roca circundante (excepto en el caso de tuberías perforadas) y se unen entre sí por medio de acoples roscados.

La profundidad a la que se introduce cada tubería de revestimiento depende de la naturaleza de los estratos geológicos por los que va penetrando el pozo. La tubería de revestimiento más grande o superficial se extiende hasta una profundidad de 18.3 a 24.4 m. El extremo superior termina en el contrapozo del cabezal y la tubería se extiende a través del estrato superior de roca pumicítica no consolidada, proporcionando con ello un firme soporte de localización para el sistema interior de tuberías concéntricas de revestimiento que se instala posteriormente. La segunda, o tubería de revestimiento para anclaje, se prolonga hacia abajo hasta una profundidad de 91.4 ó 121.9 m a través de la zona de brechas blandas y dentro de las capas superiores de la capa sello, la cual ata eficazmente el extremo inferior. La tercera, o tubería para producción se extiende hacia abajo atravesando las brechas firmes hasta la profundidad que sea necesaria (típicamente, por ejemplo de 304.8 a 609.6 m) para sellar las fisuras no productivas o contra productivas y hasta alcanzar la zona productiva del acuífero.

La parte inferior del pozo puede dejarse en ocasiones sin soporte. Pero es más común que vaya provista de una tubería ranurada que se extiende hasta el fondo del pozo y se ubica con una holgura a las paredes del pozo de alrededor de 1/2 pulgada. El objeto de este revestimiento ranurado es que actúe como filtro para detener los trozos más grandes de roca que pudieran desprenderse de las paredes del pozo. La longitud del recubrimiento ranurado situado más hacia el

interior puede ser cualquiera, atendiendo a los niveles a los que se encuentran los horizontes productores pero sólo una parte entra a la parte superior del lecho rocoso situado abajo del acuífero, ya que nada habría de ganarse llevándolo a mayor profundidad.

En la figura 24 se pueden observar las diferentes tuberías de revestimiento que se utilizan para la construcción del pozo, así como también la tubería ranurada.



**Figura 24.** Tuberías de revestimiento y ranurada

### 3.2.3 Preventores

Para el caso de que ocurra un “reventón” o expulsión espontánea durante la perforación, se instalan dos dispositivos de seguridad. En primer lugar están las compuertas Shaffer, las cuales pueden cerrarse casi instantáneamente ya sea en forma manual o por medio de aire comprimido. Las compuertas tienen empujadores semicirculares de

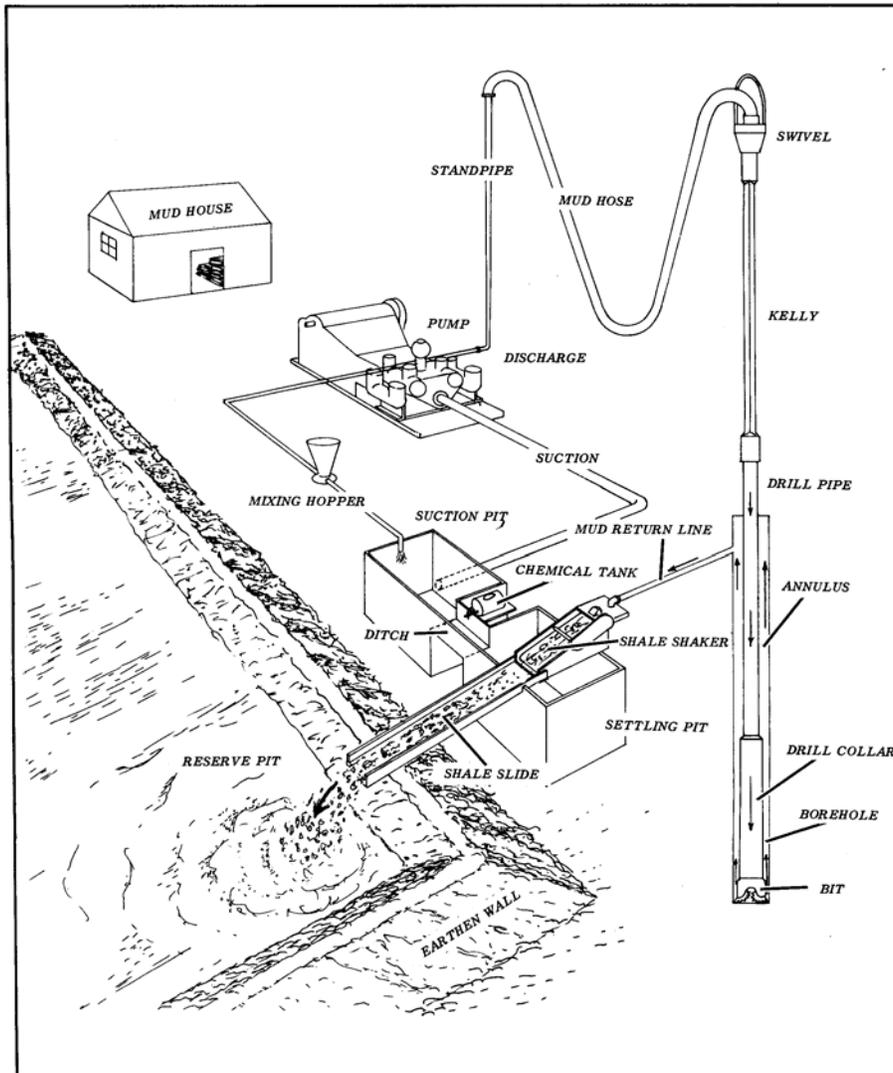
caucho que se ajustan con toda precisión en torno a la tubería de perforación, al collarín de perforación o a la tubería de revestimiento, según sea apropiado, de manera que se selle el espacio anular circundante. Abajo de las compuertas Shaffer se tiene un preventor de descontrol hecho de caucho y accionado hidráulicamente que es lo suficientemente flexible para cerrarse apretadamente en torno a una sarta de tubos de perforación o de tubos de revestimiento, según se requiera. Una vista del sistema de preventores se tiene en la figura 25.



**Figura 25.** Sistema de preventores en pozo TR-18, Berlín

#### 3.2.4 Equipo del sistema de circulación del fluido de perforación

El sistema de circulación de fluidos de perforación es el que utiliza la mayor cantidad de equipo en la plataforma. La figura 26 ilustra los componentes principales de un sistema de circulación de fluido para perforación rotatoria: la bomba, manguera y swivel (cabeza de inyección), línea del pozo, línea de retorno del lodo y las pilas. Algunos equipos accesorios también ilustrados son: el tanque de químicos y la bodega de materiales. Otros auxiliares para la operación de circulación de lodos incluyen: la shale shaker o criba vibratoria, centrifugas y otros instrumentos de las pilas.



**Figura 26.** Componentes de un sistema de circulación de fluidos

A continuación se verá una breve descripción de los equipos más importantes:

a) Bombas de lodo

Son el corazón de un sistema de circulación de fluido en una perforación rotatoria. Su función es impartir potencia al fluido en forma de presión y volumen, esto para mover el fluido de la pila a la perforación, donde la potencia hidráulica se transmite por propulsión.

En la actualidad estas bombas son operadas con diesel y del tipo triplex (de acción múltiple, Fig. 27).



**Figura 27.** Bombas de alta presión.

b) Manguera, swivel y retorno de lodo

La parte superficial del sistema de circulación de lodos, además de las piletas y bombas, consiste de tubería que forma el conducto de la bomba a la línea del pozo y debe ser capaz de manejar grandes volúmenes de lodo a presión alta, pero sin sufrir demasiada caída de presión. Esto puede ser logrado de dos formas: instalando sistemas de tuberías largas o con operación a presión alta. El sistema de mangueras de ingreso y retorno de lodo, y la cabeza de inyección (swivel) se ubican en la parte superior de la sarta de tubería de perforación (Fig. 28).



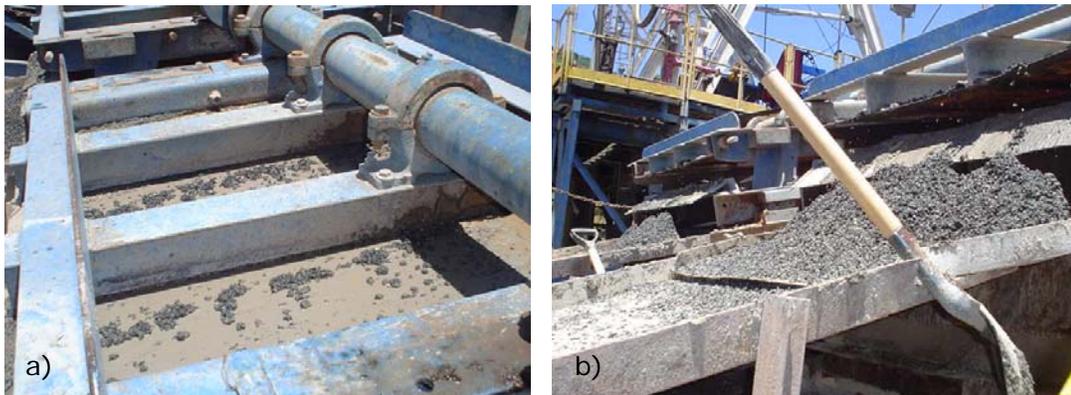
**Figura 28.** Conjunto superior del sistema de circulación de lodos

c) Línea de retorno de lodo

Proviene de la cabeza del pozo permitiendo el flujo por gravedad hacia la pila o la criba (shale shaker) y generalmente tiene un diámetro de 6 a 8 pulgadas.

d) Cribas vibratorias

El fluido retornando del pozo, cargado con recortes fluye sobre las cribas vibratorias. El lodo tamizado, fluye hacia la pila para ser acondicionado y reutilizado posteriormente (Fig. 29). Estos tamices vibratorios tienen aberturas grandes, de entre 10 y 20 mesh, con el objetivo de remover recortes grandes.



**Figura 29.** Criba vibratoria: a) Tamiz vibratorio, b) Los recortes son separados y removidos

e) Pilas de lodo

Llamadas en ocasiones “pilas de almacenamiento” (Fig. 30). Son utilizadas como un depósito para fluido de desecho, recortes y otras basuras acumuladas a lo largo de la perforación. El lodo puede ser recirculado al sistema de perforación por medio de una bomba que lo succiona y lo inyecta de nuevo al pozo.



**Figura 30.** Pileta de lodos

f) Tanque químico

Los químicos de tratamiento para controlar las propiedades reológicas del fluido de perforación son usualmente polvos secos o material en escamas. Estos se disuelven en agua y son alimentados al lodo como una solución (lechada).

g) Bodega de materiales

Bentonita en sacos y otros químicos de tratamiento se mantienen en la bodega. Son contenedores adaptados para esta operación (Fig. 31), ubicados en la parte posterior de la plataforma en un lugar de fácil acceso al tanque de mezcla de químicos.



**Figura 31.** Bodega de materiales en plataforma

## h) Desarenadores y centrífugas

Aquí se imparte movimiento al fluido para que alcance suficiente fuerza centrífuga como para separar partículas de diferentes tamaños. Esta operación no es muy eficiente, pero ya que es simple, barata y con grandes capacidades es muy utilizada. Los equipos, conocidos como ciclones se instalan de forma secuencial para separar distintos tipos de materiales de la corriente (Fig. 32). Las centrífugas son mayormente usadas con lodos de peso conocido para recuperar materiales cuantificados.



**Figura 32.** Sistema de ciclones

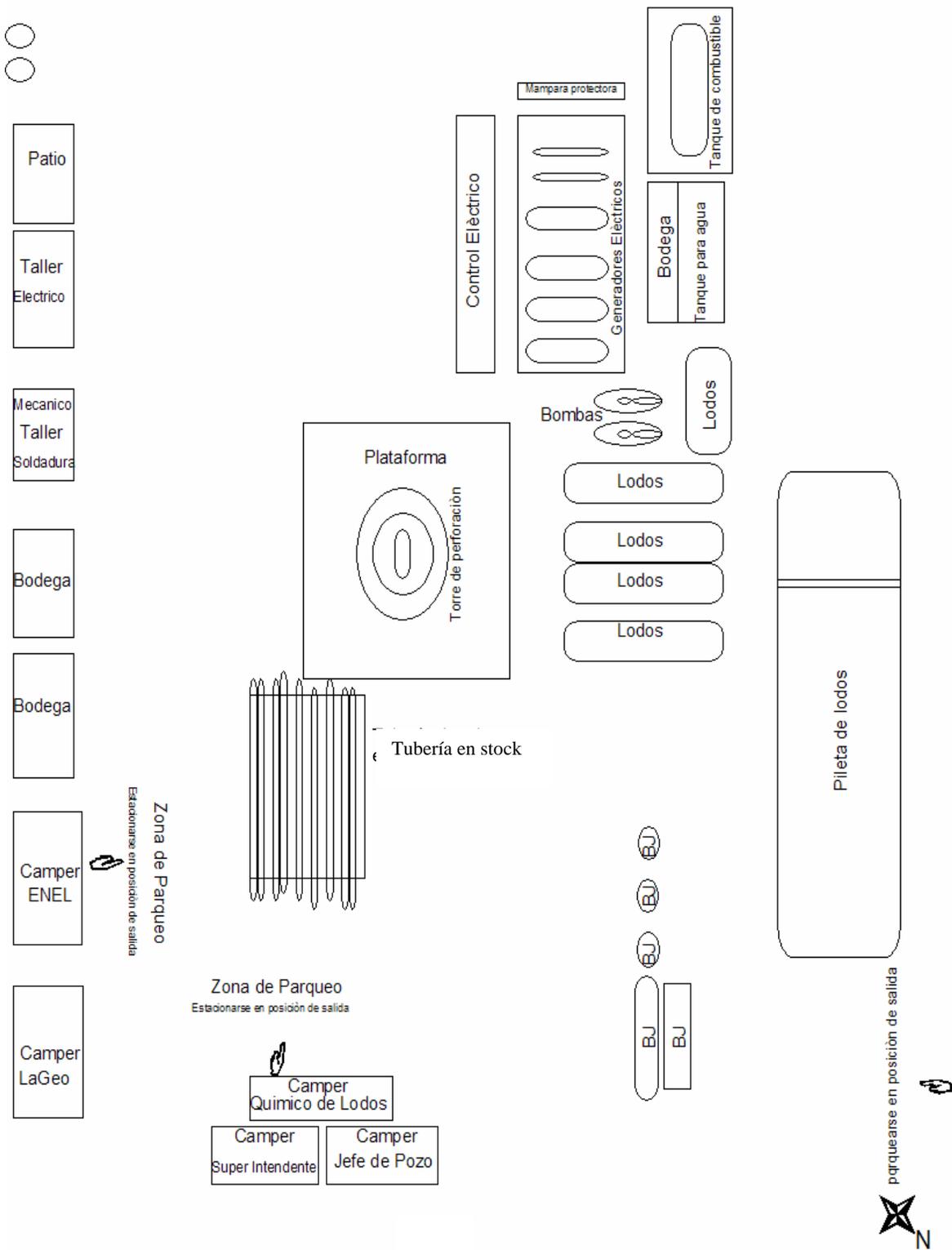
### **3.3 Caracterización de la plataforma**

La plataforma de perforación posee una área disponible de 100 x 75 metros, aproximadamente 600 m<sup>2</sup>; suficiente para instalar oficinas, habitaciones, laboratorios, bodegas, maquinaria y equipo temporal necesarios para la perforación. La infraestructura además comprende el sistema de conducción y recolección de lodos de perforación, en pilas de unos 2000 m<sup>3</sup>.

En la tabla 6 se muestra la distribución detallada de las áreas en la plataforma del TR-18. En la figura 33 se aprecia la distribución en planta de la plataforma, compuesta en base a la existente en el pozo TR-18, Los Cañales en Berlín, Usulután.

**Tabla 6.** Distribución de áreas en la plataforma del TR-18, Berlín

Área	Personas	Actividad
Torre	7	Se realizan todas las operaciones mecánicas, se abastecen la tubería y se hacen las maniobras de perforación.
Patio	6	Se distribuye la tubería de revestimiento en stock, montacargas, y se abastece al área de la torre los insumos a utilizar.
Área Administrativa	6	Es donde se encuentran las personas que tienen a su cargo la plataforma de perforación (Superintendente, jefe de pozo, supervisión de ENEL y LaGeo).
Laboratorio de Geología	2	Se analiza la litología de los recortes.
Cámpes Ingeniero de lodos y laboratorio	1	Lo ocupa el encargado de supervisión de la preparación de lodos y el análisis de sus propiedades físicas y reológicas.
Bodega de equipo		Se almacena el stock de equipo para uso diario.
Talleres	7	Esta área comprende los talleres mecánico, eléctrico y de soldadura.
Generadores eléctricos		Es donde se encuentran los generadores de electricidad, no se mantiene personal siempre solo eventualmente cuando se necesite almacenamiento.
Bodega de productos químicos		Se encuentran los productos para la preparación de los lodos de perforación.
Almacenamiento de combustible para los motores		Se almacena diesel en un tanque para suministrarlo a la generación de electricidad.
Preparación de lodos	2	Se encuentra el circuito de tanques para la preparación de lodos y las bombas que impulsan los lodos a la torre de perforación par realizar su función.
Pila de almacenamiento de lodos		Aquí se depositan los lodos a su salida del pozo para posteriormente ser recirculados o desechados.
Recolección de recortes	3	Los recortes que se remueven de las temblorinas son recogidos para su disposición final.
Equipo de Cementación	5	Es donde se prepara la maniobra de cementación y las personas que se encuentran en esta área son eventuales.
Área de vigilancia	2	Una persona por turno.
Parqueo para visitas y personal.		



**Figura 33.** Distribución en planta de la plataforma de perforación

### 3.4 Desechos generados en el proceso de perforación

En la perforación de pozos geotérmicos se generan muchos tipos de desechos, pero los principales son los fluidos de perforación base agua. Todos los desechos se pueden clasificar como líquidos, sólidos y domésticos; a continuación se mencionan cada uno de ellos:

#### a) Desechos líquidos

- Fluidos de perforación
- Agua de condensado usado en el hidrofracturamiento del pozo
- Residuos de limpieza y estimulación del pozo (de los que se encarga la empresa sub-contratada para este proceso)
- Aceite diesel usados en el proceso de perforación
- Aceite quemado residual proveniente de los generadores de energía que se utiliza en todo el proceso de perforación
- Lechada de cemento (recortes de cemento)

#### b) Desechos sólidos

- Recortes de perforación, de dos tipos, los recortes separados por temblorinas y los que no fueron separados por ellas; de estos últimos, su estado físico es lodoso y se encuentra en el fondo de la pileta (parte de la plataforma).
- Recortes sólidos de cemento.
- Material obturante para control de perdidas (cascarilla de café o ladrillos calavera, bolsas de cemento).
- Empaques y desechos de productos químicos.
- Metales (equipo o herramientas dañadas).
- Wyppe.

- Desechos especiales:
  - DBC: mezcla de diesel, bentonita y cemento utilizado para liberar herramientas atrapadas durante el proceso de perforación.
  - Mezcla de lodos y ácidos.
  - Otras mezclas liberadoras de herramientas.

c) Desechos domésticos

- Aguas negras generadas por la actividad de aproximadamente 70 personas.
- Material variado; como restos de comida, papel proveniente de las oficinas, etc.

## **CAPITULO IV. IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA PERFORACIÓN DE POZOS GEOTERMICOS**

### **4.1 Impacto ambiental**

El impacto ambiental es una alteración de las características iniciales del medio ambiente provocada por un proyecto, obra o actividad, trayendo consecuencias para la salud humana, el bienestar de la flora y fauna y la disponibilidad futura de los recursos naturales atribuibles a los corrientes de entrada o salida de un sistema.

Toda actividad industrial genera un impacto en el medio que lo rodea. De hecho las actividades industriales, agrícolas y energéticas son una de las principales causas de deterioro del medio natural a través del consumo de los recursos como fuente de contaminación, como productora de residuos, etc.

Las políticas ambientales se orientan hacia la existencia y desarrollo de proyectos para conciliar la estrategia del crecimiento económico con la debida protección del medio ambiente. La compatibilidad del uso sostenible de los recursos naturales con el desarrollo económico se traduce, en la práctica, en incorporar la dimensión ambiental a la evaluación de procesos y servicios para disminuir al máximo su impacto ambiental.

Para disminuir el impacto ambiental es necesario adoptar políticas de desarrollo sostenible, que es aquel desarrollo económico y social que tiene lugar sin detrimento del medio ambiente ni de los recursos naturales de los cuáles dependen las actividades humanas y la mejora, del presente y del futuro.

Hay una serie de principios básicos, aceptados internacionalmente, que conforman el modelo de desarrollo sostenible, como el derecho de las

personas a una vida saludable y de los Estados a aprovechar ordenadamente sus recursos naturales, la cooperación internacional, la erradicación de la pobreza, el fomento de la participación ciudadana, la prevención, la actuación en origen, etc.

Estos principios básicos contemplan la clave de la estrategia de las empresas que fomentan nuestras administraciones: la "prevención" y "la actuación en origen". Para la empresa, el desarrollo sostenible se traduce en desacoplar la creación de riqueza del impacto ambiental. El aumento de la ecoeficiencia es la forma principal de contribución de las empresas al desarrollo sostenible y cada vez más es considerada un elemento de primer orden en el diseño de estrategias empresariales.

## **4.2 Estudio de impacto ambiental**

El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) es un instrumento que identifica, describe y valora los efectos previsibles que la realización de un proyecto producirá sobre los diferentes aspectos ambientales. Este es importante porque sirve para decidir sobre la mejor alternativa de ejecución, considerando que el proyecto que está siendo planificado sea compatible con el medio ambiente.

### **4.2.1 Antecedentes en la geotermia**

Las regulaciones ambientales de diferentes países que conciernen al desarrollo de la energía geotérmica pueden ser consideradas similares. Todas tienen regulaciones que requieren un análisis ambiental para un proyecto propuesto, así como regulaciones específicas que definen las cantidades de contaminantes que pueden ser emitidos a la atmósfera o descargados a la tierra o al agua. Por ejemplo, la Comunidad Económica Europea (C.E.E.) con sede en Italia, la Ley Nacional de Medio Ambiente en los Estados Unidos, la Ley de Manejo de Recursos en Nueva Zelanda,

etc. son las bases legales para los proyectos geotérmicos e incluyen la realización de los EIA.

Muchos países en desarrollo con recurso geotérmico, no tienen un sistema formal para EIA, pero han seguido el modelo de los Estados Unidos desde el principio o adoptado recomendaciones al respecto de instituciones que han redactado guías de elaboración de EIA; por ejemplo el Banco Mundial, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, el Banco Europeo para la Reconstrucción y el Desarrollo, etc.

La mayoría de los países han desarrollado o adoptado criterios y guías para proteger su propio Medio Ambiente. En algunos casos se han tomado medidas para proteger especies locales o ecosistemas. Las guías disponibles a través del mundo incluyen:

- “Criterio de calidad para el agua” de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
- “Guía para la Región Europea” de la Organización Mundial de la Salud
- “Guía para la calidad del agua” del consejo canadiense de recursos y el ministerio del medio ambiente
- “Estándar de la calidad del agua del reino unido” del consejo de investigación del agua de la comunidad económica europea

Se considera que el desarrollo geotérmico esta creciendo, y por lo tanto esta sujeto al proceso del EIA Por ejemplo, en Islandia todas las generadoras geotérmicas de 25 MW están sujetas a EIA.

#### 4.2.2 El EIA en El Salvador

En El Salvador no existe una legislación ambiental especial regule la explotación geotérmica, pero la Ley de Medio Ambiente vigente se aplica

para el caso. En esta se especifica que el titular de cualquier actividad, obra o proyecto debe presentar el EIA respectivo, según lo dictado en la Ley del Medio Ambiente, durante la fase de obtención del Permiso Ambiental para la ejecución del proyecto; preferiblemente en las etapas de prefactibilidad o factibilidad.

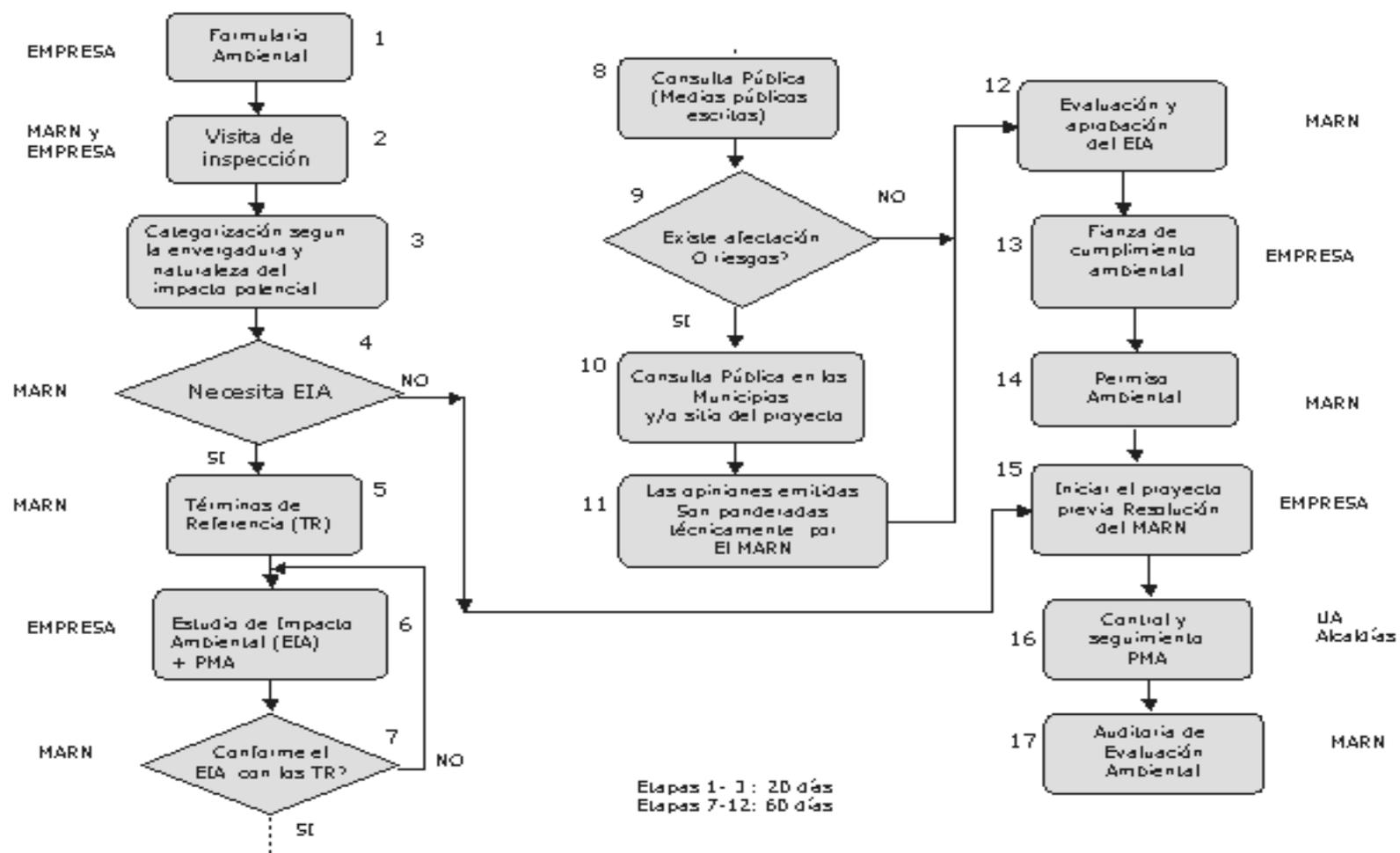
El EIA debe incluir como mínimo:

- Un resumen ejecutivo del estudio a fin de resaltar los aspectos más importantes que aporten información como ¿en qué consiste el proyecto?, ¿cuáles son los impactos?, ¿cuáles son las medidas de mitigación sobre los impactos identificados?
- Descripción del proyecto, desde la etapa de preparación del sitio, construcción, incluso contemplando el cierre.
- Marco legal aplicable.
- Descripción del entorno.
- Identificación, priorización y cuantificación de los impactos ambientales.
- Interpretación de resultados.
- Determinación de las medidas de mitigación.
- Programa de manejo ambiental, control y monitoreo.

En la figura 34, se presenta el proceso grafico de evaluación ambiental para el inicio de actividades, obras o proyectos.

### **4.3 Posibles impactos producidos por la energía geotérmica**

La energía geotérmica es considerada una de las energías más limpias utilizadas en el ámbito mundial y su explotación se esta volviendo cada vez más necesaria para los países que cuentan con este recurso.



**Figura 34.** Proceso grafico de evaluación ambiental para el inicio de actividades, obras o proyectos.

El recurso geotérmico en si no crea impacto, son las tecnologías desarrolladas y un mal manejo del recurso los que pueden causar impactos irreversibles en el ambiente y las comunidades humanas. Si un proyecto geotérmico no esta sujeto al proceso del EIA y a un programa de monitoreo, las consecuencias pueden ser negativas, ya que cuando estos recursos son explotados con el propósito de generar energía, el manejo superficial puede causar un impacto en el ambiente físico.

Para entender la amplitud y la naturaleza de los impactos sobre el ambiente del desarrollo geotérmico, Hietter (1995) considera la clasificación y característica del recurso geotérmico como elementos importantes en la identificación de los efectos. Su clasificación de las características de la fuente de energía geotérmica y sus efectos se muestran en la tabla 7.

La clasificación por temperatura es mas frecuentemente usada porque esta determina el tipo de explotación geotérmica que puede ser desarrollada, por ejemplo usos directos o generación de energía eléctrica. Ambos están asociados con las características de reservorio y sus efectos en el ambiente.

Hietter (1995) considera que los impactos ambientales por la explotación geotérmica variaran según las diferentes fases de explotación, las cuales se describen por lo general como: la exploración preliminar, pozos exploratorios profundos y la fase de producción.

a) Exploración preliminar

Los efectos ambientales son usualmente pequeños porque solo están involucrados estudios geológicos, muestreos y perforaciones pequeñas.

b) Exploración profunda

Los aspectos ambientales relacionados a la exploración profunda de un reservorio geotérmico incluyen: disturbios superficiales por las

plataformas y los caminos, emisiones al aire, descarga de lodo de perforación, recortes, fluidos geotérmicos, ruido por el trabajo de construcción durante la perforación, posibles disturbios a la vegetación y la vida silvestre, potenciales efectos a la salud para los trabajadores del proyecto por exposición a fluidos geotérmicos y posibles emisiones de H<sub>2</sub>S y efectos potenciales sobre residencias cercanas, áreas recreativas, etc.

**Tabla 7.** Clasificación de las características de las fuentes de energía geotérmica y sus efectos

<b>Tipos de clasificación</b>	<b>Característica</b>	<b>Efectos</b>
<b>Temperatura</b>		
Alta temperatura: Sobre 150°C Temperatura moderada: 90-150°C Baja temperatura: Abajo 90°C	Temperatura	Determina el tipo de tecnología usada (uso directo, planta generadora binaria o de flasheo); determina si hay emisiones a la atmósfera.
<b>Fase fluida</b>		
Vapor-dominante Líquido-dominante Roca seca	Composición química	Determina la naturaleza de las emisiones al aire y la naturaleza de los fluidos que pueden ser descargados.
<b>Fuente de calor</b>		
Circulación profunda de agua subterránea Calor volcánico	Profundidad y formación rocosa	La profundidad del reservorio determina el tamaño del pozo requerido para la extracción. El tipo de roca encontrado determina la duración del proceso de perforación.
<b>Usos del recurso</b>		
Generación de energía eléctrica Utilización directa	Extensión del área	El tamaño del reservorio determina cuantas plantas pueden ser construidas, con los impactos y disturbios superficiales pertinentes.

Fuente: Hietter, L. M., 1995. "Introduction to geothermal development and regulatory requirements"

c) Fase de producción

Probablemente esta fase tiene el mayor impacto sobre el ambiente. De acuerdo a Ármannsson y Kristmannsdóttir (1992) los principales impactos sobre el ambiente durante el transcurso de esta fase son los siguientes:

Disturbios superficiales: Pozos y tuberías son probablemente los signos más específicos de la producción de energía geotérmica. Una plataforma de perforación tiene usualmente entre 200 y 2500 m<sup>2</sup> de área. En algunos casos, cuando el recurso geotérmico se utiliza para calentamiento u otro uso industrial los sitios de explotación requieren de largas tuberías, lo que extiende el área afectada. Los pozos y las piletas son aspectos prominentes durante la perforación. El impacto visual necesita atención debido a que las manifestaciones geotérmicas naturales están frecuentemente localizadas en áreas de belleza natural, pudiendo ser de interés histórico o atracciones turísticas.

Cambios físicos debido a la extracción del fluido: La extracción del fluido puede causar efectos en el agua subterránea y hay reportes de que este proceso y otros complementarios, como la reinyección, pueden inducir la actividad sísmica. Los efectos tienen cuando no se logra igualar el flujo de salida de la masa de fluido con el flujo de entrada natural. Las formaciones porosas sobre el sitio de la extracción, como especialmente arcillas y sedimentos, se compactan. Estos efectos son locales, pero debe tenerse cuidado con construcciones como las tuberías, y la posible formación de hundimientos o grietas en el suelo. Los efectos sobre el agua subterránea pueden causar la mezcla entre los fluidos y los acuíferos, y causar dificultades como el deterioro del agua potable.

Ruido: En el caso específico de la explotación geotérmica existen ruidos asociados a la perforación que raramente exceden los 90 dB y el ruido por la descarga de los pozos que puede exceder los 120 dB. La descarga de vapor seco de los pozos tiende a ser más difícil de silenciar. Los trabajadores deben usar protectores en los oídos tanto durante la perforación como en las pruebas de descarga.

Descargas químicas: Los químicos son descargados a la atmósfera a través del vapor y al agua subterránea en la reinyección de líquidos. H<sub>2</sub>S es el gas que causa más preocupación debido al desagradable olor y su toxicidad a concentraciones moderadas. CO<sub>2</sub>, es usualmente el mayor constituyente de los gases geotérmicos, y el CH<sub>4</sub> ha causado preocupación debido a su papel como gas de efecto invernadero. Otros gases menores que causan preocupación son: Hg, Rn, NH<sub>3</sub>, y B no han sido encontrados en concentraciones peligrosas en gases geotérmicos, pero necesitan monitoreo. Los contaminantes potenciales en el efluente son: H<sub>2</sub>S, As, B, Hg y otras trazas metálicas. La disposición directa de los desechos líquidos puede ser peligrosa y existe daño conocido. Además sustancias como el As y el Hg pueden acumularse en sedimentos y organismos.

Efectos económicos y sociales: Debido a su naturaleza, la energía geotérmica es frecuentemente explotada en lugares relativamente remotos. Un incremento temporal en el empleo y la importación de fuerza de trabajo externa atraen servicios varios, pueden causar daños en la forma tradicional de vida y dejar marcas cuando el trabajo de construcción sea finalizado. La construcción de caminos abrirá el área y probablemente la hará atractiva a turistas, creando así una nueva industria.

En la tabla 8 se describe en forma resumida los posibles impactos ambientales involucrados en el proceso de aprovechamiento de la Energía Geotérmica, describiéndose además la amplitud del área afectada (presentada como L, local; R, regional y G, global) y la prioridad, entendiéndose esta como el nivel de importancia del impacto, y sirve como parámetro al definir las medidas de mitigación.

#### **4.4 Resultados del EIA realizado en la expansión de la zona sur del campo geotérmico de Berlín**

A partir del estudio de impacto ambiental realizado en la zona sur de Berlín por la Unidad Geoambiental de LaGeo S.A. para la perforación de pozos geotérmicos y todas las actividades que se derivan, tales como la preparación del sitio, construcción de la plataforma, etc.

Para evaluar los impactos potenciales generados por las acciones del proyecto, se conformó un equipo multidisciplinario e interdisciplinario integrado por especialistas en las ramas de geología, hidrología, sociología, procesos químicos, ingeniería civil y perforación de pozos, con el propósito de garantizar un dominio y criterio de las actividades del proyecto y factores ambientales asociados al mismo; ya sean negativos o positivos que se producirían en los factores físicoquímicos, bióticos y socioculturales. Estos resultados se reflejan en la figura 35.

Los resultados que se presentan en la tabla 8 fueron obtenidos mediante el uso del método Rapid Impact Assessment Matriz (RIAM), según siglas en inglés; herramienta electrónica que permite organizar, analizar y presentar los resultados integrados del Estudio de Impacto Ambiental.

**Tabla 8.** Resumen de los posibles impactos ambientales ocasionados por el aprovechamiento de la energía Geotérmica

Actividad	Receptor	Impacto	Zona impactada	Prioridad
<b>Perforación y Construcción del Pozo</b>				
Perforación, trabajos de construcción, tráfico vehicular	Varios	Emisiones gaseosas material particulado en suspensión, ruido	L/R/G	Baja
Impactos sobre el empleo	Incremento del empleo	Beneficios asociados	L / R	Baja
	Trabajadores	Accidentes	L	Baja
Ruido (incluyendo tráfico en rutas)	Público en general	Ruidos molestos	L	Media
Impacto Visual	Público en general	Deterioro del paisaje	L	Media
<b>Efluentes líquidos</b>				
Compuestos químicos tóxicos (B, Li, As, H <sub>2</sub> S, Hg, Rb, NH <sub>3</sub> )	Ecosistemas acuáticos	Contaminación de aguas superficiales y residuales, acumulación de sedimentos y organismos acuáticos	L	Baja
Contaminación Térmica	Ecosistemas acuáticos	Stress sobre los organismos, pérdida de biodiversidad	L	Baja
Depresión del acuífero	Suministro de agua		L	Baja
Hundimiento del Terreno	Varios	Inestabilidad de la planta y los edificios, grietas en la tierra, cambios en los cursos de agua	L	Baja - Media
Uso del suelo	Ecosistemas	Pérdida de hábitat, disturbios	Local	Baja
Impacto Visual	Público en General	Deterioro del paisaje	Local	Media - Alta
Degradación de atractivos turísticos	Público en General		Local	Baja - Media
Sismicidad inducida	Propiedad privada	Daños a las propiedades	Local	Baja
Erupciones hidrotérmicas	Propiedad privada	Daños a las propiedades y a la salud humana	Local	Baja
<b>Ecosistema</b>				
Uso del suelo / corte de vegetación	Ecosistema	Perdida de hábitat, erosión.	Local	Baja
Ruido / actividades constructivas	Ecosistema	Disturbios.	Local	Baja
Contaminación del agua	Aguas subterráneas y superficiales	Contaminación con líquidos de perforación y otros.	Local	Media

Fuente: <http://www.eco2site.com/informes/imp-amb-renov3.asp>



El análisis completo de los impactos sobre el ambiente es presentado en la tabla 9.

Un aspecto clave del proyecto es que se consideraron medidas de control ambiental en cada una de las actividades anteriormente mencionadas, a incorporarse en los diseños finales. También se prevé mejorar las calles de acceso y oportunidad de empleos temporales en la zona, razón por la cual la realización del proyecto guarda muy buenas expectativas para las comunidades aledañas a cada sitio de alternativo propuesto.

**Tabla 9.** Análisis de los impactos sobre el ambiente

<b>Impactos significativos</b>	<b>Tipo de impacto</b>
<i>Componente físico-químico</i>	
Cambio del uso del suelo	Impacto ligeramente positivo
Incremento en los niveles de ruido	Impacto ligeramente negativo
Cambio en la permeabilidad de suelos	No cambios
Incremento de la inestabilidad de suelos	No cambios
Contaminación de suelos por fluidos de perforación	Impacto negativo
<i>Componente Biológico y ecológico</i>	
Eliminación de flora	No cambios
Perdida de habitats	No cambios
<i>Componente sociológico y cultural</i>	
Investigaciones geocientíficas	Impactos positivos moderados
Modificación del paisaje	No cambios
Accidentes laborales y públicos	No cambios
Mejoramiento de calles y obras de protección	Impactos positivos
<i>Componente Económico y operacional</i>	
Aumento de comercio y turismo	Impactos positivos
Mejora de accesos	Impactos positivos
Ampliación de servicios	Impacto ligeramente positivo
Adquisición de terrenos	No cambios
Generación de empleo	Impactos positivos

#### 4.4.1 Medidas de control ambiental

Para las diferentes plataformas de pozos y sitios de interés, se proponen medidas de control ambiental en carácter preliminar, las cuales son de tipo preventivo, atenuantes y de compensación.

A continuación (ver tabla 10), se presenta un resumen de medidas ambientales por cada factor afectado en los diferentes sitios por las actividades del Proyecto.

**Tabla 10.** Medidas de mitigación ante los impactos ambientales generados

<b>Actividad</b>	<b>Impacto</b>	<b>Medida</b>	<b>Ubicación de medida</b>	<b>Resultados esperados</b>
Obras de terracería y perforación	Generación de ruido en plataforma	Capacitación permanente en uso equipo protector	Todo el personal	Prevención de daños auditivos
Desbroce y descapote	Daños a suelo, flora y fauna	Programas de reforestación	Zona de la plataforma	Recuperación de hábitat
Perforación de pozos	Incidencia por derrames	Capacitación sobre prevención y respuesta a emergencias. Instalación válvulas.	Sitio de perforación	Evitar derrames

#### 4.4.2 Plan de monitoreo ambiental

A fin de garantizar que durante la fase de ejecución del proyecto, las acciones preventivas o de mitigación sean efectivas, se propone, en las tablas 11 y 12, el Plan de Monitoreo Ambiental para obras civiles y para la perforación de pozos geotérmicos.

**Tabla 11.** Monitoreo ambiental para las obras civiles en proyectos geotérmicos

Aspectos del proyecto	Parámetros	Lugar	Frecuencia	Método a utilizar	Responsable	Indicador ambiental	Comunicación
Desbroce	Tala de árboles y acopio de vegetación	Calle proyectada y plataforma	2 ó 3 veces por semana	Inspección directa	Contratista y subcontratistas	Tala de árboles solamente en área autorizada. Acopio en sitios adecuados	Comunicación directa con supervisión, coordinador y director proyecto. Informes semanales
Terracería	Manejo de terracería, taludes y acopio de material,	Calle proyectada y plataforma	2 ó 3 veces por semana	Inspección directa	Contratista y subcontratistas	Uso y manejo adecuado de explosivos, taludes estabilizados, acopio adecuado	Comunicación directa con supervisión, coordinador y director proyecto. Informes semanales
Obras de construcción conformación de suelo, canaleta, talud, calles, drenajes	Manejo adecuado de instalaciones. Manejo adecuado de desechos sólidos	Plataforma	2 ó 3 veces por semana	Inspección directa	Contratista y subcontratistas	Mantener limpia la zona de trabajo y hacer un manejo adecuado de los desechos sólidos	Comunicación directa con supervisión, coordinador y director proyecto. Informes semanales
Calidad del aire	Control emisiones de ruido y gases contaminantes	Sitio del proyecto	2 ó 3 veces por semana	Inspección directa y medición	Supervisor Ambiental	Niveles de ruido bajo norma, equipo y maquinaria en buen estado	Comunicación directa con supervisión, coordinador y director proyecto. Informes semanales
Calidad del agua	Uso adecuado de agua de la zona. Trato justo con la comunidad vecina e instituciones de agua	Fuentes o ríos cercanos a la obra	2 ó 3 veces por semana	Inspección directa	Supervisor Ambiental	Ningún reclamo de comunidades e instituciones por el uso del agua	Comunicación directa con supervisión, coordinador y director proyecto. Informes semanales
Responsabilidad Socio - Ambiental	Contratación de mano de obra local. Daños a la propiedad privada, Reforestación	Comunidad vecina	2 ó 3 veces por semana	Inspección directa	Contratistas, subcontratistas y LaGeo	Contratación de mano de obra no calificada de Las Crucitas. Ningún reclamo de daño. Reforestar área afectada.	Comunicación directa con supervisión, coordinador y director proyecto. Informes semanales
Salud Ocupacional y Seguridad Industrial	Uso de equipos de seguridad ocupacional, concientización al personal	Sitio del proyecto	2 ó 3 veces por semana	Inspección directa. Charlas directas al personal	Supervisor Ambiental	Cero accidentes. Personal usando los equipos de seguridad. 2 charlas por mes.	Comunicación directa con supervisión, coordinador y director proyecto. Informes semanales

Fuente: Unidad Geoambiental, LaGeo S.A. de C.V.

**Tabla 12.** Monitoreo ambiental para la perforación de pozos geotérmicos

Aspectos del proyecto	Parámetros	Lugar	Frecuencia	Método a utilizar	Responsable	Indicador ambiental	Comunicación
Movilización de equipos y maquinaria e instalaciones provisionales	Control de velocidades y seguridad peatonal	Calles primarias y secundarias	2 ó 3 veces por semana	Inspección directa	Contratista y subcontratistas	# de accidentes / operación realizada	Comunicación directa con supervisión, coordinador y director proyecto. Informes semanales
Transporte de materias primas y materiales	Seguridad en el manejo de transporte y almacenaje	Calles primarias y secundarias y sitios de almacenamiento	2 ó 3 veces por semana	Inspección directa	Contratista y subcontratistas	# accidentes / operación realizada Estibaje	Comunicación directa con supervisión, coordinador y director proyecto. Informes semanales
Perforación de 4 etapas para un pozo geotérmico profundo	Temperatura de formación, zona de anclaje, cementación, calidad de fluidos	Para cada etapa de perforación	Diaria	Controles mecánicos y automáticos del pozo	El perforador	Pérdidas, informe de registro del pozo	Supervisor ambiental y el perforador
Pruebas de operación del equipo y los sistemas complementarios	Plan Contingencial para las pruebas con controles adecuados y mediciones oportunas	Plataforma	2 ó 3 veces por semana	Inspección directa	Contratista y subcontratistas	Mantener limpia la zona de trabajo y hacer un manejo adecuado de los desechos sólidos	Comunicación directa con supervisión, coordinador y director proyecto. Informes semanales
Calidad del aire y agua superficial	Emisiones de H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , niveles de ruido(dBA) Cloruros, B, As, pH, T, Cr, Cd, Pb, Al, carga bacteriana	Inmediato a la fuente de emisión y viviendas. Fuentes y ríos cercanos	2 ó 3 veces por semana	Mediciones y muestreos en cada punto definido	Supervisor Ambiental	Niveles de ruido bajo norma, equipo y maquinaria en buen estado	Comunicación directa con supervisión, coordinador y director proyecto. Informes semanales
Salud Seguridad Ocupacional	Uso de equipos de seguridad ocupacional, concientización al personal	Sitio Las Crucitas	2 ó 3 veces por semana	Inspección directa. Charlas directas al personal	Supervisor Ambiental	Cero accidentes. Personal usando los equipos de seguridad. 2 charlas por mes.	Comunicación directa con supervisión, coordinador y director proyecto. Informes semanales
Responsabilidad Socio Ambiental	Contratación de mano de obra local. Daños a la propiedad privada, Reforestación	Comunidades vecinas	2 ó 3 veces por semana	Inspección directa	Contratistas, subcontratistas y LaGeo	Contratación de mano de obra no calificada de Las Crucitas. Ningún reclamo de daño. Reforestar área afectada.	Comunicación directa con supervisión, coordinador y director proyecto. Socialización del proyecto.

Fuente: Unidad Geoambiental, LaGeo S.A. de C.V.

## CAPITULO V. ECOEFICIENCIA

### 5.1 Evolución del interés ambiental

En los años 60 aparecieron los primeros síntomas de una repercusión negativa al medio ambiente que implican todo desarrollo tecnológico. El entorno físico – natural mostraba señales negativas para la salud humana. Es por ello que empiezan a surgir ideas de cambio, ya no corregir la contaminación, sino prevenirla. En la tabla 13 se contemplan algunos de los sucesos mas importantes de la evolución por el interés hacia el medio ambiente.

**Tabla 13.** Cronología sobre el interés ambiental

Año	Acontecimiento
1962	Publicación del libro "Primavera Silenciosa", destaca interrogantes de suma importancia del hombre hacia su naturaleza. Impulsó los movimientos ambientales.
1970	En esta década se cambió el concepto de "controlar" la contaminación por "prevenir" su creación.
1972	Publicación de "Limites al Crecimiento". Hace una exhortación a establecer límites hacia la utilización irracional e insostenible de los recursos. Inició el dialogo sobre la capacidad de amortiguamiento de la tierra y destacó la posibilidad de modificar las tendencias de crecimiento, para trazar una condición de estabilidad económica y ecológica sustentable. Además se dio la conferencia de la ONU: <i>Ambiente Humano</i> realizada en Estocolmo, Suecia; para puntualizar "los derechos" a un ambiente sano y productivo.

**Tabla 13.** Continuación

Año	Acontecimiento
1975	Los fabricantes de 3M en EEUU crearon el concepto "pagar por la prevención de la contaminación" con lo que logró más de \$800 millones de ahorros acumulativos en el 1er año.
Década delos 80's	Denominada "Década del Movimiento Ambiental", el cual se origina con los consumidores que llegan a ser mas concientes sobre los impactos ambientales que generaban los productos que compraban.
1987	Se presentó el informe de Bruntland "Nuestro futuro común" presentado por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo.
1989	Formalización del concepto de "Producción más limpia" definiéndola como: <i>la aplicación continua de una estrategia preventiva de tipo ambiental, aplicada a los procesos, productos y servicios, para incrementar la eficiencia ecológica, y así reducir los riesgos humanos y ambientales.</i>
1991	El BCSD ahora WBCSD, utilizó por primera vez el término ECOEFICIENCIA, el cual estableció el vínculo entre el desempeño ambiental y los beneficios económicos.
1992	La ONU convoca a la Primera Cumbre Internacional de la Tierra, en la cual se abordaron la problemática acerca de la protección ambiental y el desarrollo socioeconómico. En dicha cumbre se genero la agenda 21, que consiste en un plan diseñado para lograr el desarrollo sostenible en el siglo 21, generándose así el término " <i>desarrollo sostenible</i> " que despertó un mayor interés por la agenda de desarrollo, siendo acogida por la Comisión Mundial del Ambiente y Desarrollo.

**Tabla 13.** Continuación

Año	Acontecimiento
1998	Introducción del "factor 4", el cual se refiere a un aumento hipotético cuádruple en recurso productivo, con el objetivo de duplicar simultáneamente las riquezas acordando a la mitad el consumo del recurso.
2002	Se lleva a cabo la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible (WSSD), celebrada en Johannesburgo, África del Sur, la cual trato sobre la total implementación de la agenda 21 a corto y largo plazo y se reafirmaron los compromisos a los principios de Río de Janeiro.

El medio ambiente en el área de los negocios ha ido cobrando vida en las últimas décadas. La relación entre el medio ambiente y el comercio se ha transformado en un instrumento con el que las empresas podrían contribuir al desarrollo sostenible. Esto se ha dado debido a que el tema ambiental se ha constituido en una preocupación política, existe una mayor conciencia de los problemas ambientales y se han tomado acuerdos ambientales multilaterales firmados por diferentes países miembros de la OMC (Organización Mundial del Comercio).

## **5.2 Qué es la Ecoeficiencia**

El concepto de ecoeficiencia nace de la concepción global de los impactos ambientales de las diferentes fases del ciclo de vida de un producto, y de la voluntad de reducir los diferentes efectos ambientales negativos.

Una definición de ecoeficiencia es la siguiente: *"La ecoeficiencia es una herramienta de administración empresarial que proporciona bienes y servicios a un precio competitivo, que satisfagan las necesidades*

*humanas y la calidad de vida, al tiempo que reduzcan progresivamente el impacto ambiental y la intensidad de la utilización de recursos a lo largo del ciclo de vida, hasta un nivel compatible con la capacidad de carga estimada del planeta. Esta se concentra en oportunidades de negocios y permite a las compañías ser más rentables”.*

También se puede entender la ecoeficiencia como la relación entre el valor del producto o servicio producido por una empresa y la suma de los impactos ambientales a lo largo de su ciclo de vida:

$$ECOEFICIENCIA = \frac{VALOR DEL PRODUCTO O SERVICIO}{IMPACTO AMBIENTAL}$$

La ecoeficiencia debe considerarse ante todo como una cultura administrativa que guía al empresariado para asumir su responsabilidad con la sociedad, y lo motiva para que se vuelva más competitivo, impulse una innovación productiva en su negocio y adquiera una mayor responsabilidad ambiental.

A diferencia de lo que pudiera pensarse, las empresas no necesitan hacer un lado sus actuales prácticas y procesos de producción para convertirse en empresas ecoeficientes; por el contrario, la ecoeficiencia motiva una innovación empresarial para adaptar y readecuar los sistemas productivos existentes a las necesidades del mercado y del medio ambiente, y de esa forma consolidar niveles más altos de desarrollo económico, social y ambiental. La implementación de un programa efectivo de ecoeficiencia tiene como resultado la consecución conjunta de una excelencia empresarial y una excelencia ambiental.

Una gestión ecoeficiente de los procesos de producción o de los servicios de una empresa aumenta la competitividad de esta empresa

ya que:

- Reduce el despilfarro de los recursos mediante la mejora continua.
- Reduce el volumen y toxicidad de los residuos generados.
- Reduce el consumo de energía y las emisiones contaminantes.
- Se reducen los riesgos de incumplimiento de las leyes y se favorecen las relaciones con la administración competente.

La ecoeficiencia se halla estrechamente ligada al desarrollo sostenible ya que equivale a optimizar tres objetivos: crecimiento económico, equidad social y valor ecológico. Es el principal medio a través del cual las empresas contribuyen al desarrollo sostenible y al mismo tiempo consiguen incrementar su competitividad. Este concepto significa añadir cada vez más valor a los productos y servicios, consumiendo menos materias primas, generando cada vez menos contaminación a través de procedimientos ecológica y económicamente eficientes y previniendo los riesgos.

Haciendo un lado el enfoque tradicional de combatir la contaminación por medio de remediaciones o controles gubernamentales, la ecoeficiencia captura la idea de reducir contaminantes a través de cambios en el proceso productivo: a fin de cuentas, la limpieza de los desechos al final de la cadena de producción es una operación que únicamente genera gastos adicionales a la empresa. Como resultado, la aplicación de programas de ecoeficiencia es una excelente alternativa para reducir significativamente la dispersión de elementos tóxicos que puedan poner en riesgo la salud humana. La ecoeficiencia promueve un diseño integral de tecnología para reducir la intensidad de uso de materiales y energía durante la producción, además de que impulsa la reutilización de insumos a través de procesos de reconversión tecnológica y de reciclaje. Esto motiva a que la empresa

mejore la funcionalidad de los productos y aumente la durabilidad de los mismos.

### 5.2.1 Bases de la Ecoeficiencia

La visión central de la ecoeficiencia se puede resumir en producir más con menos. Utilizar menos recursos naturales y menos energía en el proceso productivo, reducir los desechos, atenuar la contaminación, es definitivamente positivo para el medio ambiente; y a la vez, es benéfico para la empresa porque sus costos de producción y operación se ven disminuidos. Como meta final, la ecoeficiencia debe buscar la elaboración de bienes y la prestación de servicios a precios competitivos que satisfagan las necesidades humanas y eleven la calidad de vida de la población. Al mismo tiempo, debe promover la reducción progresiva del impacto ambiental negativo de los productos, y procurar que su confinamiento esté a un nivel al menos en línea con la capacidad estimada de carga de la Tierra.

La alta gerencia debe estar dispuesta a adoptar un sistema de gestión ambiental en la empresa, y a promover la cooperación interinstitucional como un medio para encontrar una dirección conjunta al esfuerzo ecoeficiente.

Un punto de vista ecoeficiente considera siempre una perspectiva de la función realizada por el producto, más que al producto en sí. Por ejemplo, para un empaque, en lugar de centrarse en el "polietileno", se repara en su función de "preservar alimentos"; de ese modo, es posible determinar la cantidad de materia prima, recursos naturales, combustibles y energía empleados para que el producto final cumpla con los requisitos de la función deseada, así como la factibilidad de reducción en el uso de los mismos. De este modo, la ecoeficiencia hace énfasis en la maximización y optimización del uso sostenible de

recursos renovables, con el fin último de la disminución de costos, tanto para el productor como para el consumidor.

### 5.2.2 Herramientas de la Ecoeficiencia

Existen varias herramientas administrativas que son útiles para identificar y seleccionar áreas de oportunidad en las empresas y cuya aplicación debe ser promovida como parte de la cultura ecoeficiente:

- La adopción de un enfoque de ciclo de vida para los productos.
- La certificación de estándares regionales, nacionales e internacionales para procesos de producción que consideren el impacto ambiental, como son el EMAS en Europa o ISO 14000 en todo el mundo.
- La implementación de Sistemas de Gestión Ambiental.
- La administración de calidad total para eliminar posibles fallas en el proceso productivo.
- El desarrollo de auditorias ambientales en una base periódica.
- El uso de métodos de contabilidad empresarial que reflejen los costos ambientales ocultos y detecten ahorros potenciales.
- La publicación de reportes ambientales.
- El uso de sistemas de retroalimentación para gerentes por parte de trabajadores, clientes, proveedores y público en general.

#### *Análisis de ciclo de vida*

El análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta utilizada para analizar los efectos que un producto tiene en el medio ambiente, durante su diseño, manufactura, operación y confinamiento. Gracias a la identificación de tales impactos a lo largo de la vida del producto, es posible identificar las áreas y procesos donde se pueden hacer mejoras benéficas para el medio ambiente.

El estándar preliminar 14040 del ISO explica el concepto de Evaluación del Ciclo de Vida o *Life Cycle Assessment*, una técnica que permite evaluar los aspectos ambientales potenciales asociados con un producto o servicio. Esto se consigue a través de:

- La compilación de un inventario de insumos y productos finales relevantes.
- La evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con dichos insumos y productos.
- La interpretación del resultado del inventario y las fases de impacto en relación con los objetivos del estudio.

#### *Sistemas de gestión ambiental*

Los sistemas de gestión ambiental (SGA) constituyen una de las herramientas que pueden ayudar a que los negocios mejoren su desempeño ambiental.

Los sistemas de gestión ambiental permiten que las empresas ahorren al disminuir costos y reducir la exposición a percances. Al mismo tiempo, les ayudan a generar ganancias al expandir su participación de mercado y al permitirles acceder a nuevas oportunidades de negocio.

Los sistemas de gestión ambiental se utilizan para administrar las posibles oportunidades ambientales, como medio de incremento de la eficiencia en el uso de recursos, así como para manejar los posibles riesgos al ambiente como contaminación y daños a la salud.

#### *Administración de la calidad total*

La administración de la calidad total (ACT) es una estrategia organizacional que involucra un cambio en la cultura empresarial hacia una filosofía más participativa y orientada al cliente.

Esta estrategia utiliza el conocimiento humano, métodos científicos y herramientas cuantitativas para evaluar y mejorar los insumos, los procesos y los resultados, de tal forma que se satisfagan las necesidades presentes y futuras de los clientes internos y externos. La ACT se basa en tres principios:

- Conseguir la satisfacción del cliente.
- Lograr un mejoramiento continuo.
- Involucrar a la fuerza laboral entera.

### 5.2.3 Beneficios y consecuencias

Una empresa que implemente un programa efectivo de ecoeficiencia obtendrá entonces los siguientes beneficios:

- Minimizará costos de producción.
- Utilizará de manera más responsable los recursos naturales.
- Reducirá la emisión de contaminantes.
- Competitividad e innovación en la producción.
- Obtendrá ingresos adicionales con el reciclaje y reuso de desechos.
- Gozará de prestigio entre distribuidores y consumidores.
- Reducirá el nivel de rotación de personal y mantendrá un ambiente laboral sano y estable.
- Tendrá acceso a nuevas oportunidades de mercado y cumplirá con estándares internacionales.
- Mejorará sus relaciones públicas y obtendrá la aprobación de su comunidad.

Además de beneficiar a la empresa, la implementación de programas de ecoeficiencia también resulta en consecuencias positivas para el desarrollo sostenible a nivel regional y global. La reducción de consumo de materias primas y de desechos repercute en la creación

de un balance ambiental en el planeta. El aumento en los niveles de seguridad y desarrollo de recursos humanos motiva un panorama de equidad social. La eficiencia y responsabilidad empresariales son un instrumento eficaz para establecer acciones conjuntas con gobiernos y sociedad civil. Finalmente, la competitividad y rentabilidad provocadas por la adopción de nuevas tecnologías se traduce en el crecimiento económico de la empresa, y por ende, de la región.

#### 5.2.4 Técnicas de ecoeficiencia

Asimismo, existen algunas técnicas específicas de ecoeficiencia que se pueden implementar en las empresas:

- *Cambios en la materia prima.* Rediseño de productos y cambio de especificaciones para promover el uso de materiales reciclados, de materiales que no sean tóxicos, que estén libres de solventes y que no contaminen.
- *Cambios de tecnología.* Sustitución de procesos químicos por procesos mecánicos; uso de equipos que consuman menos energía; uso de combustibles más amigables al medio ambiente; instalación de computadoras para el control de procesos; reemplazo de equipos obsoletos e ineficientes.
- *Cambios de proceso.* Disminución del número de procesos u operaciones; sustitución por procesos limpios; instalación de sistemas de conservación de energía, controladores de proceso, sensores y medidores; aplicación de controles estadísticos de calidad.
- *Orden y limpieza.* Control de inventarios y almacenamiento ordenado; mantenimiento de instalaciones; sustitución de materiales de limpieza con unos más amigables para el medio ambiente; medición de consumos y desechos; tratamiento de efluentes; control de derrames.

- *Mantenimiento de equipos.* Establecimiento de un programa de inspecciones; mantenimiento preventivo y predictivo del equipo; calibración del equipo.
- *Reutilización y reciclaje.* Decantación de sólidos; recuperación de solventes; reciclaje de agua, papel, envases, plásticos, metales, lodos y desechos; recuperación de averías; recuperación de materias primas por medio de condensación, absorción y filtración; recuperación de calor.

## **CAPITULO VI. ECOEFICIENCIA EN LA PERFORACIÓN DE POZOS GEOTÉRMICOS**

La reducción de costes de fabricación mediante el incremento de la eficiencia de los procesos productivos es uno de los objetivos fundamentales de cualquier empresa. En este sentido, la ecoeficiencia tiene intereses comunes con el mundo empresarial ya que intenta conseguir más y mejores productos utilizando menores cantidades de materiales y energía.

El método que se utilizará para el estudio de la ecoeficiencia será Activity Based Costing (ABC, costos basados en actividades); el cual, mediante herramientas de producción más/limpia, realiza un análisis del proceso, se diseña y se pone en marcha proyectos de mejora después de la evaluación correspondiente. Este método fue tomado del Manual de ecoeficiencia de la Fundación Entorno (Ver anexo A).

### **6.1 Activity Based Costing (ABC)**

La adopción de una estrategia ecoeficiente es algo no solo deseable, si no también factible. Sin embargo, existen varios elementos que a primera vista pudieran parecer obstáculos o barreras. El principal problema reside en la falta de conocimiento de la existencia de soluciones que permiten atenuar el impacto ambiental negativo de las actividades productivas al tiempo que elevan la competitividad empresarial (barreras de información y tecnológicas). Otro de los factores limitantes, es la carencia de recursos o condiciones adecuadas para acometer las inversiones necesarias (barreras financieras).

El diseño y la aplicación de mejoras en procesos productivos se desarrollan en tres fases, cuyos objetivos y resultados esperados se indican en la tabla 14.

**Tabla 14.** Fases del diseño y aplicación de mejoras

Fase I: Diagnóstico del proceso	Fase II: Análisis de viabilidad
<i>Objetivos Principales</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descripción del proceso y conocimiento de flujo de materiales</li> <li>• Identificar los efectos ambientales del proceso</li> <li>• Identificar los riesgos medioambientales asociados</li> <li>• Identificar opciones de mejoras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar las opciones para el estudio de viabilidad</li> <li>• Valorar la viabilidad técnica de las opciones</li> <li>• Valorar la viabilidad económica de las opciones</li> <li>• Describir las mejores opciones para cada flujo</li> </ul>
<i>Resultados Esperados</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento de la situación ambiental de la empresa</li> <li>• Equipo con responsabilidad de gestión</li> <li>• Relación de opciones de mejora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conjunto de opciones de mejoras</li> </ul>
<b>Fase III: IMPLEMENTACION</b>	

#### 6.1.1 Fase I: Diagnóstico del proceso

Los objetivos de eco-eficiencia para cualquier sector deben ser cuantificables, para conocer hasta qué punto se logran los resultados, alcanzables en el plazo y con los recursos considerados, y consistentes con el resto de objetivos de la empresa.

El diagnóstico de proceso debe permitirnos conocer bien todas las entradas y salidas de nuestro proceso en términos físicos y económicos y en cuanto a efectos medioambientales.

Esta fase también debería servir para mejorar el conocimiento de la situación ambiental de la empresa, la responsabilidad de gestión del plan y la relación de opciones de mejora.

*a) Descripción de los procesos tipo y determinación del flujo de materiales*

El análisis de flujo es capaz de mostrar las cantidades de materiales que fluyen cada año en el proceso productivo, hacia adentro, a través de él y

hacia afuera. Las unidades de medida son unidades físicas. Mediante esta actividad se puede llegar a establecer comparaciones entre procesos similares y conocer el grado de eficiencia del uso de recursos o si se están generando más o menos residuos por unidad de producto.

*b) Identificación de los efectos ambientales del proceso*

La caracterización de los efectos ambientales de cada una de las fases es una de las tareas claves. Para realizar esta actividad se deben caracterizar los efectos en función del medio receptor: emisiones atmosféricas, producción de residuos (asimilable a urbano, inertes, valorizables o peligrosos) y vertidos.

*c) Identificación de riesgos asociados*

Una vez conocidos los efectos medioambientales es necesario conocer los riesgos asociados a las instalaciones y actividades de las empresas.

Los objetivos de dicha evaluación son:

- **Identificar riesgos inminentes** que puedan reducir los niveles de producción o significar una amenaza grave para la operatividad de las instalaciones.
- **Detectar posibles amenazas** o necesidad de futuras inversiones con el fin de cumplir con la normativa ambiental, actual o futura.

Dichos riesgos se encuentran asociados en su mayoría a incumplimientos actuales de la legislación ambiental y, en otros casos, a malas prácticas que en un futuro podrán suponer la necesidad de inversiones debido a las nuevas tendencias normativas.

Para estimar la entidad y gravedad de los principales riesgos detectados el riesgo se define como:

Riesgo = Gravedad del suceso no deseado x Probabilidad de ocurrencia del mismo
--

La probabilidad de ocurrencia se divide en tres categorías (Alta, media y baja) en función de los siguientes criterios:

- Alta: Probable que se produzca el suceso a corto plazo.
- Media: Probable que se produzca el suceso a medio / largo plazo.
- Baja: Probabilidad remota a que ocurra el suceso.

La gravedad se clasifica en función de su impacto sobre la producción y la magnitud de los costes asociados a cada suceso:

- Alta: El suceso afectaría gravemente a la producción y/o a la cuenta de resultados.
- Media: El suceso afectaría con costes e inversiones correctoras elevadas sin afectar la producción.
- Baja: Podría suponer un coste moderado, sin llegar a afectar a la producción.

#### *d) Identificación de opciones de mejora*

Conocido en detalle el proceso productivo, sus efectos medioambientales y los riesgos asociados, estamos en disposición de identificar dónde hay que efectuar las mejoras. Este proceso es posiblemente el más complejo ya que las opciones sobre cómo mejorar el proceso dependen de distintos factores y capacidades (imaginación, conocimientos técnicos sobre mejores técnicas disponibles, experiencia, implicación del personal en el proceso o habilidad entre otros).

El acceso a la información es cada vez más significativo para el diseño de los procesos productivos, aunque la información relevante es de difícil acceso por su propia naturaleza confidencial para las compañías. La visita a ferias y el contacto con profesionales de otras compañías puede ayudar al proceso de búsqueda de soluciones y mejoras.

Existen técnicas para el desarrollo de la innovación y creatividad que se aplican al diseño de productos y también a la mejora de procesos productivos. Una regla interesante es pensar en términos de un sistema interrelacionado y preguntarnos:

¿Qué cambios en nuestro sistema de producción añaden valor e incrementan la eficiencia?

Una vez detectadas las posibles mejoras, conviene describirlas y clasificarlas. En principio, cualquier opción debe establecerse en torno a tres grandes líneas estratégicas:

#### **A. Reducción en origen**

- A.1) Implementar buenas prácticas de operación y gestión
- A.2) Modificar o sustituir materias primas
- A.3) Modificar los procesos productivos o auxiliares
- A.4) Modificar o sustituir el producto final

#### **B. Reciclaje y Reutilización en propia planta**

- B.1) Reutilizar, incorporando en la misma línea de proceso
- B.2) Reciclar, incorporando en diferentes línea de proceso
- B.3) Recuperar materiales

#### **C. Reciclaje y Reutilización externo**

- C.1) Vender a otra empresa
- C.2) Entregar a gestor autorizado

#### **6.1.2 Fase II: Análisis de Viabilidad**

En esta fase se han de seleccionar las opciones que estimemos válidas, estudiando su viabilidad en términos económicos y técnicos. Si pasan todos los filtros, nuestra recomendación será implementar la metodología sugerida.

### *a) Selección de las opciones*

Para preseleccionar y ordenar alternativas factibles técnica y económicamente puede utilizarse una matriz de decisión, donde se valore la idoneidad de las alternativas analizadas asignando un valor a cada criterio utilizado (criterios como recursos de personal necesarios, impacto en resultados, valoración de la mejora del proceso tras la operación y otras que se considere oportuno como primera aproximación).

En este filtrado previo se debe asegurar que las alternativas que se vayan a estudiar sean aquellas que tengan mayores probabilidades de ser las seleccionadas, evitando la pérdida de tiempo y recursos estudiando alternativas que a priori tienen pocas probabilidades de ser viables.

De entre las opciones identificadas es importante seleccionar aquéllas que resulten técnica y económicamente viables. Al evaluarlas, puede ser necesario volver a analizar el proceso en el que se genera los residuos y emisiones, tomar más muestras, analizarlas y hacer pruebas en laboratorio y/o a escala piloto, para cerciorarse de que la alternativa propuesta funcionará correctamente en la planta.

### *b) Valoración de la viabilidad técnica*

Una vez descritas las diferentes alternativas debemos cerciorarnos de que la alternativa propuesta funcionará correctamente en planta. Para ello puede ser conveniente visitar alguna instalación donde ya esté en funcionamiento e informarse sobre proyectos y soluciones similares implementadas con éxito o las lecciones aprendidas de otros fracasos (construir sobre lo conocido). En la viabilidad técnica del nuevo proceso se tendrá en cuenta:

- Impacto de los cambios sobre la calidad del producto
- Necesidad de espacio en la planta
- Plazo necesario para la Instalación
- Posible caída de la producción durante el periodo de instalación
- Conocimiento de la tecnología propuesta
- Mantenimiento de los nuevos equipos
- Grado de capacitación que deben tener los operarios

*c) Valoración de la viabilidad económica*

Al analizar la viabilidad económica de un proyecto se tienen en cuenta, además de la rentabilidad, aspectos como el riesgo de la inversión, la dificultad para financiar el proyecto, las ayudas económicas existentes, entre otros. Pero cuando la financiación lo permite, las consideraciones de rentabilidad suelen ser determinantes al optar por una opción u otra. En el estudio de la rentabilidad de una inversión, se han de comparar los ingresos de las alternativas estudiadas con los gastos (inversiones, costes de explotación y otros costes) que la alternativa conlleva. Los parámetros que se analizan son:

- El capital o desembolso inicial necesario
- Los gastos operativos y de mantenimiento
- Los ingresos obtenidos si son diferentes respecto a las alternativas presentadas.

Además de valorar las ventajas técnicas y económicas de las diferentes opciones, deberían considerarse los aspectos intangibles de los proyectos analizados, que para determinadas necesidades de la empresa pueden ser incluso más importantes que los tangibles y contribuir a realizar actuaciones que aparentemente no tienen una rentabilidad suficiente:

- Mejora de las condiciones laborales de los trabajadores
- Posibles responsabilidades futuras (accidentes, escapes y fugas, contaminación del suelo, sanciones)
- Influencia en la imagen corporativa

### 6.1.3 Fase III: Implementación de las medidas

Después de realizar el análisis de viabilidad técnica y económica se construye un esquema de implementación de mejoras. En dicho esquema se ha de considerar la obtención de las aprobaciones pertinentes bien para la adquisición de los nuevos materiales y maquinaria o para buscar y negociar con nuevos suministradores.

Es también conveniente indicar el plazo que sugerimos para efectuar las mejoras en un Plan de actuación. En este sentido las alternativas que produzcan mejores beneficios y en función de las posibilidades de financiación y recursos técnicos y humanos disponibles, son las que deberían acometerse primero.

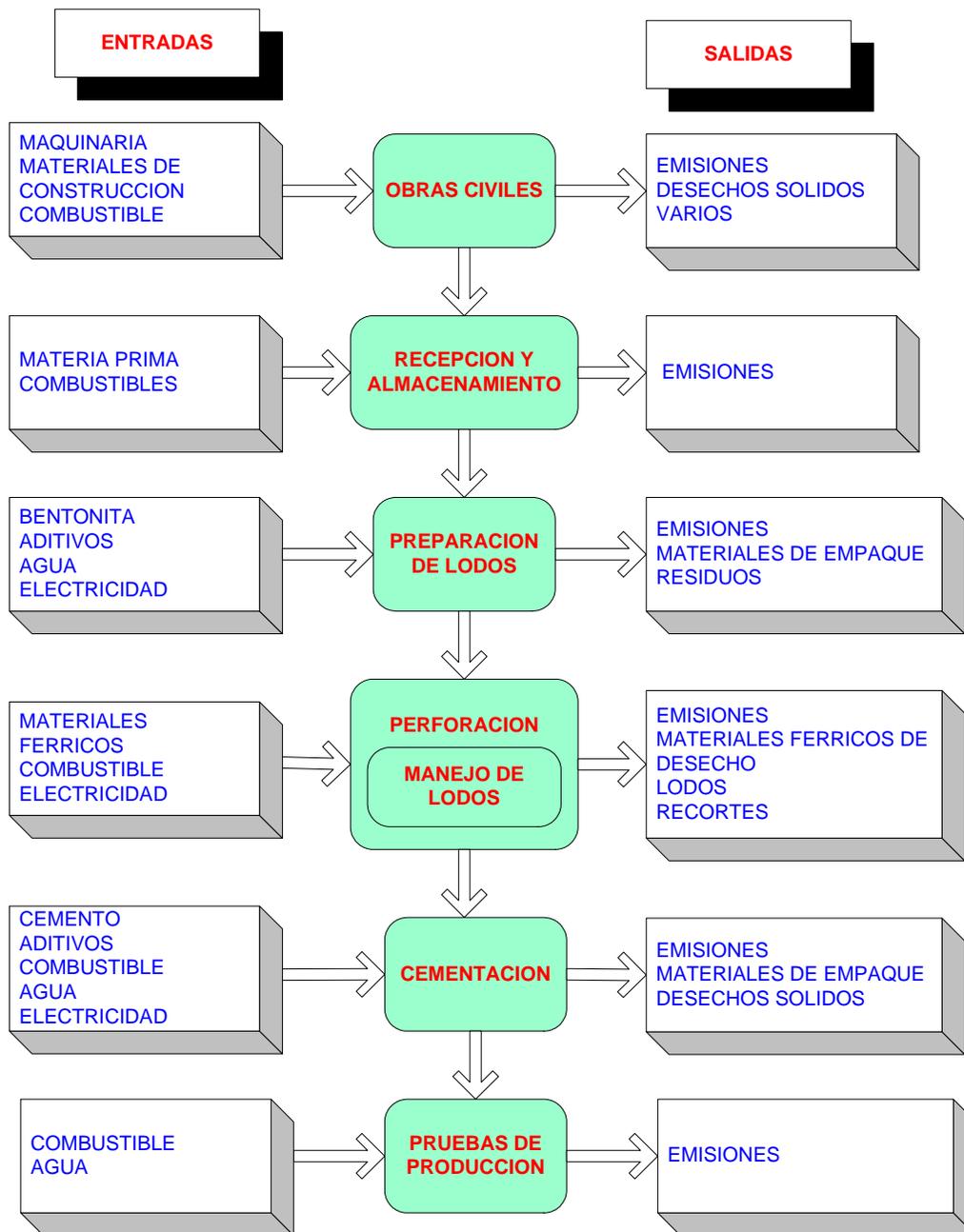
## **6.2 Evaluación ecoeficiente del proceso de perforación del pozo TR-18 en el campo geotérmico de Berlín, Usulután**

### 6.2.1 Fase I: Diagnóstico del proceso

Como se explicó anteriormente, el diagnóstico debe permitirnos conocer exactamente todas las entradas y salidas del proceso, también sus efectos medioambientales.

#### *a) Descripción del proceso*

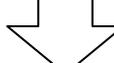
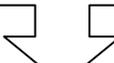
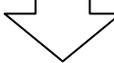
A continuación se presenta el diagrama de flujo de nuestro proceso (simplificado).

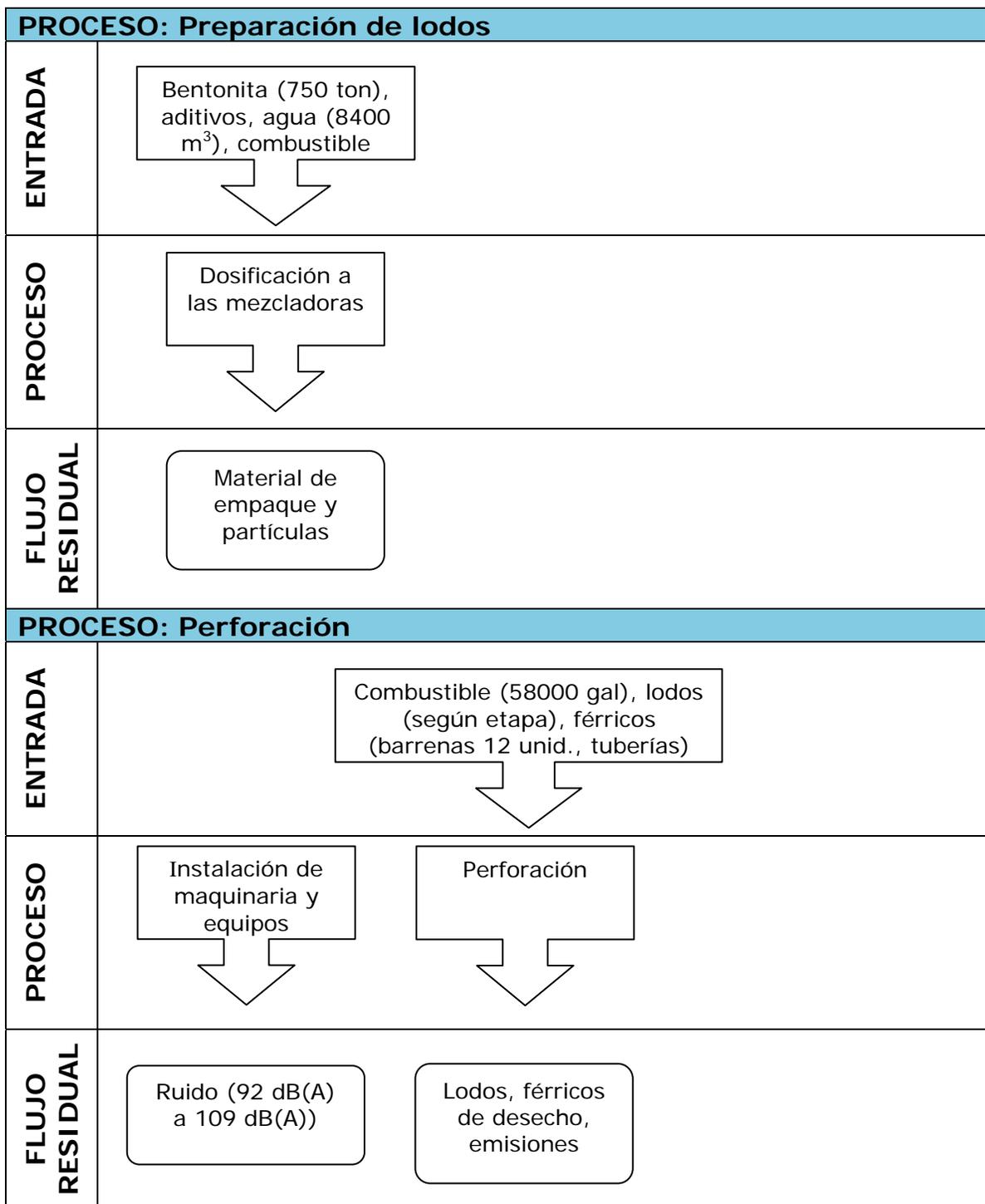


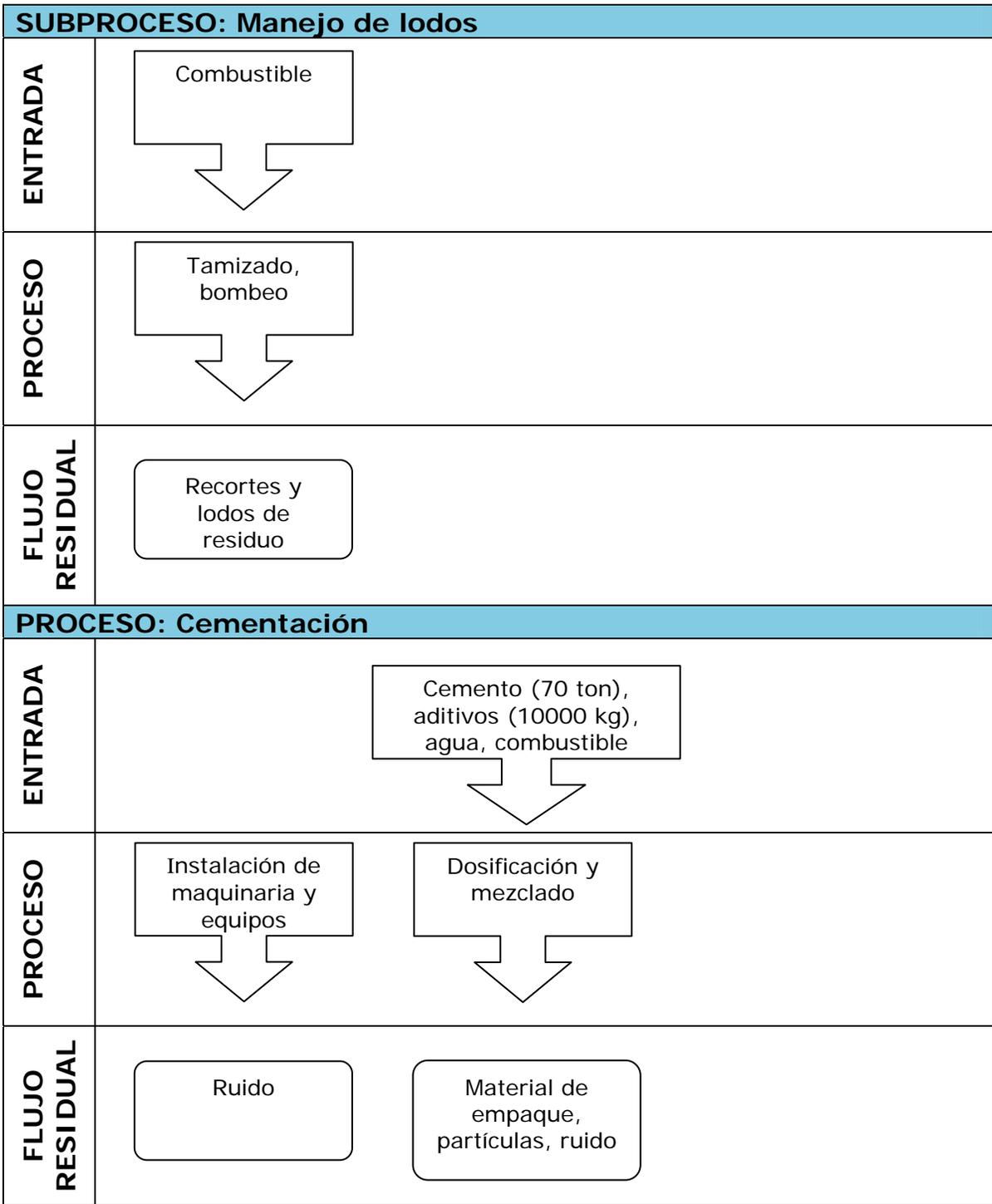
**Figura 36:** Diagrama de flujo simplificado para el proceso de perforación de pozos geotérmicos

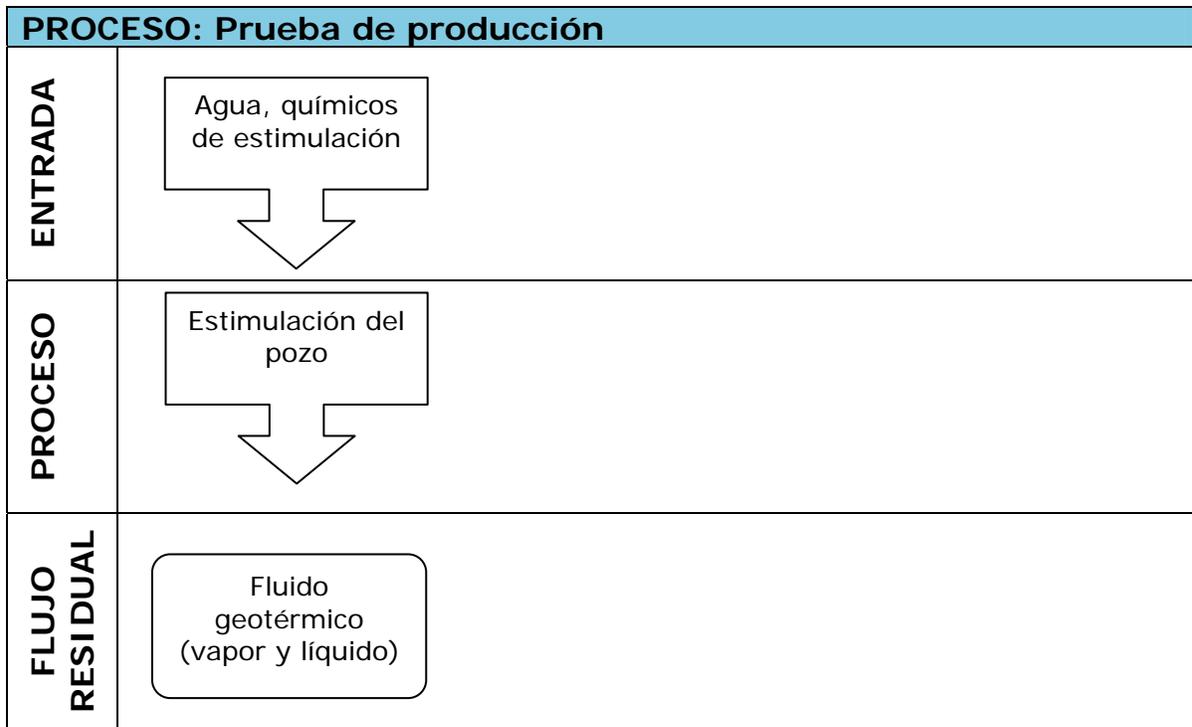
A continuación se muestra el detalle de las entradas y salidas de materiales para cada una de las operaciones realizadas en cada proceso.

**Tabla 15.** Entradas y salidas de proceso en la perforación

PROCESO: Obras civiles			
<b>ENTRADA</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Cemento, estructuras metálicas, arena</div> 		
<b>PROCESO</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Desbroce</div> 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Terracería</div> 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Obras de construcción</div> 
<b>FLUJO RESIDUAL</b>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Residuos vegetales</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Tierra</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Ripio, material de empaque</div>
PROCESO: Recepción y almacenamiento			
<b>ENTRADA</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Materia prima</div> 		
<b>PROCESO</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Recepción y almacenamiento</div> 		
<b>FLUJO RESIDUAL</b>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Emisiones de material particulado</div>		







b) *Identificación de los aspectos medioambientales del proceso*

**Tabla 16.** Detalle de los aspectos medioambientales significativos

<b>OBRAS CIVILES</b>	<b>Aspectos medioambientales significativos en el proceso de obras civiles</b>
<b>Operaciones y/o Procesos Unitarios</b>	
<p>En esta etapa, se desarrollan varias operaciones, ya que esto marca el principio del proceso de perforación. Las operaciones a destacar son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desbroce y terracería</li> <li>• Obras de construcción</li> </ul>	
<b>Emisiones atmosféricas</b>	
Partículas suspendidas	
<b>Residuos inertes</b>	
<p>La mayoría de los residuos son vegetales, de la flora que se corto para lograr hacer la plataforma, también ha residuos de las obras de construcción como ripio, empaques, etc.</p>	

<b><u>RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO</u></b>	<b>Aspectos medioambientales significativos en el proceso de Recepción y Almacenamiento</b>
<b>Operaciones y/o Procesos Unitarios</b>	
En esta etapa del proceso es donde se recibe y se almacena todo los materiales e insumos que se utilizaran en todo el proceso de perforación:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recepción</li> <li>• Almacenamiento</li> </ul>	
<b>Emisiones atmosféricas</b>	
Partículas suspendidas de los insumos (Cemento, bentonita y otros)	
<b><u>PREPARACIÓN DE LODOS</u></b>	<b>Aspectos medioambientales significativos en el proceso de preparación de lodos</b>
<b>Operaciones y/o Procesos Unitarios</b>	
En esta etapa se mezclan todos los insumos para la preparación de lodos que se utilizan en la perforación, según las características físicas y reológicas que se necesiten, las operaciones a destacar son:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezclado</li> </ul>	
<b>Emisiones atmosféricas</b>	
Partículas suspendidas de los insumos que se desprende al mezclarlo	
<b>Residuos inertes</b>	
Material de empaque de los insumos	
<b>Residuos peligrosos</b>	
Las materias primas utilizadas son de carácter biodegradable.	
<b><u>PERFORACION</u></b>	<b>Aspectos medioambientales significativos en el proceso de perforación</b>
<b>Operaciones y/o Procesos Unitarios</b>	
Esta etapa es el corazón del proceso, aquí se efectúa la penetración de la herramienta, desde niveles superficiales hasta llegar al reservorio.	
<b>Emisiones atmosféricas</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de gases de combustión por la operación del equipo y maquinaria utilizados (motores, generadores, bombas, etc.)</li> <li>• Ruido generado en el proceso.</li> </ul>	
<b>Residuos inertes</b>	
En el proceso de perforación la mayoría de residuos sólidos son generados por el desgaste de las herramientas utilizadas y otros materiales férricos desechados (tubos, centralizadores, chatarra etc.)	
<b>Residuos peligrosos</b>	
Aceite residual de los motores y otros equipos utilizados en el proceso.	

<b><u>MANEJO DE LODOS</u></b>	<b>Aspectos medioambientales significativos en el proceso de perforación</b>
<b>Operaciones y/o Procesos Unitarios</b>	
<p>Los lodos preparados son utilizados para el componente hidráulico del proceso de perforación. Las operaciones unitarias principales son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bombeo</li> <li>• Tamizado</li> </ul>	
<b>Emisiones atmosféricas</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de gases de combustión por la operación del equipo y maquinaria utilizados (motores, cribas vibratorias, bombas, etc.)</li> <li>• Ruido generado en el proceso.</li> </ul>	
<b>Residuos inertes</b>	
Recortes extraídos junto con los lodos de retorno y que son separados en las cribas.	
<b>Residuos peligrosos</b>	
La gran mayoría de materias primas y aditivos utilizados en el proceso son biodegradables; algunos requieren dilución en ácido no muy concentrado, pero este queda dentro del pozo.	
<b>Efluentes líquidos</b>	
Lodos con condiciones ya no aptas para la perforación y que son depositados en las pilas de lodos.	
<b><u>CEMENTACION</u></b>	<b>Aspectos medioambientales significativos en el proceso de cementación</b>
<b>Operaciones y/o Procesos Unitarios</b>	
<p>En esta etapa se prepara la mezcla de cemento para recubrimiento del pozo y se realiza la cementación del mismo. Aquí se garantiza la seguridad del pozo para su rendimiento durante la producción.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezclado</li> <li>• Cementación</li> </ul>	
<b>Emisiones atmosféricas</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material particulado disperso en el proceso de mezclado, proveniente de las materias primas utilizadas.</li> <li>• Emisiones de gases de combustión por la operación del equipo y maquinaria utilizados (motores, mezcladoras, bombas, etc.)</li> <li>• Ruido generado en el proceso.</li> </ul>	
<b>Residuos inertes</b>	
Están compuestos básicamente por el material de empaque y embalaje de las materias primas utilizadas.	
<b>Residuos peligrosos</b>	
Las materias primas utilizadas en el proceso son biodegradables.	

<b><u>PRUEBA DE PRODUCCION</u></b>	<b>Aspectos medioambientales significativos en el proceso de prueba de producción</b>
<b>Operaciones y/o Procesos Unitarios</b>	
<p>En este proceso se mide la productividad que puede alcanzar el pozo, por lo que se estimula bombeándole agua o estimulando químicamente a fin de limpiar de los residuos de lodos de perforación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bombeo</li> </ul>	
<b>Emisiones atmosféricas</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de gases provenientes del pozo (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S).</li> <li>• Contaminación térmica por los vapores del pozo.</li> </ul>	
<b>Efluentes líquidos</b>	
<p>Fluido geotérmico residual que es reinyectado a un pozo resumidero de unos 2000 m de profundidad.</p>	

*c) Identificación de riesgos asociados*

Después de conocer los efectos medioambientales, se plantean a continuación los riesgos asociados a todas las actividades que se realizan. Como se explicó antes, la probabilidad de ocurrencia y la gravedad del evento se clasifica en tres categorías: alta, media y baja; en función a la magnitud de la influencia en el proceso.

**Tabla 17.** Valoración del suceso con su respectivo riesgo potencial asociado

Suceso con riesgo potencial asociado	Probabilidad de ocurrencia			Gravedad de consecuencias			Valoración global del riesgo	Consecuencias y observaciones
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta		
<b>Riesgos potenciales asociados a la situación actual</b>								
<b>PROCESO: Obra civil</b>								
Denuncia de las autoridades por irregularidades en los permisos de instalación y funcionamiento							Bajo	Supone la regularización de los permisos en cuestión para continuar el proyecto
Daños ambientales a fauna, flora, suelo y/o subsuelo por efectos de construcción de la plataforma							Bajo	Se contempla un programa de reforestación compensatorio de la flora removida
Contaminación por ruido en las labores de construcción de la plataforma							Moderado	Implica una inversión en material de bloqueo acústico alrededor del área de trabajo
<b>PROCESO: Recepción y almacenamiento de materia prima</b>								
Efectos a la salud de los trabajadores por inhalación de partículas dispersas en el transporte y manejo de materiales							Bajo	Inversión en capacitación y equipo de protección a los operarios involucrados directamente
<b>PROCESO: Preparación de lodos</b>								
Efectos a la salud de los trabajadores por inhalación de partículas dispersas en el transporte y manejo de materiales							Bajo	Inversión en capacitación y equipo de protección a los operarios involucrados directamente
Contaminación del aire por dispersión de residuos sólidos							Bajo	Requiere concientización del personal para evitar el "desperdicio" de materiales

Suceso con riesgo potencial asociado	Probabilidad de ocurrencia			Gravedad de consecuencias			Valoración global del riesgo	Consecuencias y observaciones
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta		
<b>Riesgos potenciales asociados a la situación actual</b>								
<b>PROCESO: Perforación</b>								
Contaminación por ruido debido a actividades en la plataforma							Moderado	Implica una inversión en material de bloqueo acústico alrededor del área de trabajo
Contaminación del aire por emisiones gaseosas producto de operación de maquinaria y/o fugas de gases del pozo							Moderado	Inversión en horas/hombre para establecer más control sobre los procesos para identificar fuentes de problemas
Efectos a la salud de los trabajadores por exposición a fugas de fluidos geotérmicos y a gases del pozo							Bajo	Inversión en capacitación y equipo de protección a los operarios involucrados directamente
<b>SUBPROCESO: Manejo de lodos</b>								
Contaminación de efluentes por fracturas en la pileta							Bajo	Invertir en equipo y personal para monitoreo e identificar así los puntos problemas y controlarlos
Contaminación de suelos por la disposición final de los desechos sólidos de los lodos de perforación							Bajo	Evaluar alternativas de utilización para que la empresa invierta y cambiar el último uso de los lodos

Suceso con riesgo potencial asociado	Probabilidad de ocurrencia			Gravedad de consecuencias			Valoración global del riesgo	Consecuencias y observaciones
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta		
<b>Riesgos potenciales asociados a la situación actual</b>								
<b>PROCESO: Cementación</b>								
Efectos a la salud de los trabajadores por inhalación de partículas dispersas en el transporte y manejo de materiales							Moderado	Inversión en capacitación y equipo de protección a los operarios involucrados directamente
Contaminación del aire por dispersión de residuos							Bajo	Concientización e inversión en horas/hombre para control de la eficiencia del proceso
Contaminación por ruido debido a actividades en la plataforma							Moderado	Implica una inversión en material de bloqueo acústico alrededor del área de trabajo
<b>PROCESO: Prueba de producción</b>								
Contaminación por ruido provocado por actividades de operación en la plataforma							Alto	Implica una inversión en material de bloqueo acústico alrededor del área de trabajo
Contaminación de aguas subterráneas por infiltraciones del pozo							Bajo	Invertir en equipo y personal para monitoreo e identificar así los puntos problemas y controlarlos
Contaminación térmica por descargas gaseosas del pozo							Alto	Invertir en equipo y personal para monitoreo e identificar así los puntos problemas y controlarlos

d) Identificación de opciones de mejora

**Tabla 18.** Alternativas y opciones de mejora para el proceso (Ver Pág.104)

Proceso	Estrategia de Ecoeficiencia	Opciones de Ecoeficiencia
<b>OBRAS CIVILES</b>	C.1 Vender a otra empresa	La madera que se obtiene se puede vender a los pobladores
	C.2 Entregar al gestor	Los residuos vegetales que no se pueden vender, y los residuos de construcción
<b>RECEPCION Y ALMACENAMIENTO</b>	A.1 Buenas prácticas	Inspección previa del empaque de los materiales
	A.1 Buenas prácticas	Manejo adecuado de los insumos en el momento del traslado
	A.1 Buenas prácticas	Almacenamiento controlado de los materiales
	A.1 Buenas prácticas	Orden y limpieza en los lugares de almacenamiento
<b>PREPARACION DE LODOS</b>	A.1 Buenas prácticas	Manejo adecuado en la dosificación de los insumos y control de inventario
	C.2 Entregar al gestor	Recoger los empaques
	A.1 Buenas prácticas	Manejo adecuado de los insumos en el momento del traslado
	A.1 Buenas prácticas	Orden y limpieza en el sitio de preparación
<b>PERFORACION</b>	A.1 Buenas prácticas	Instalar barreras acústicas alrededor del área de trabajo
	A.1 Buenas prácticas	Mejorar programa de mantenimiento para optimizar la eficiencia de combustión
	A.1 Buenas prácticas	Implementación de reglamento de seguridad industrial para obligatoriedad del uso de equipo de protección
	A.1 Buenas prácticas	Control de inventario de la cantidad de todos los desechos
	C.1 Vender a otra empresa	Disposición final de chatarra y aceite residual
<b>MANEJO DE LODOS</b>	C.2 Entregar al gestor	Disposición final de recortes y otros desechos sólidos provenientes del manejo de los lodos de perforación
<b>CEMENTACION</b>	A.1 Buenas prácticas	Implementación de reglamento de seguridad industrial para obligatoriedad del uso de equipo de protección
	A.1 Buenas prácticas	Instalar barreras acústicas alrededor del área de trabajo
	C.2 Entregar al gestor	Recoger los empaques
<b>PRUEBA DE PRODUCCION</b>	A.1 Buenas prácticas	Instalación de barreras acústicas alrededor del área de trabajo

## 6.2.2 Fase II: Análisis de viabilidad

### PROCESO: Obras civiles

- *La madera que se obtiene se puede vender a los pobladores.* Debido al estilo de vida de la zona, la madera que se obtiene de la tala previa a la terracería de la plataforma puede ser de utilidad y es factible aplicarle un valor comercial, ya que en la actualidad una de las formas de disposición final es el acopio de todos los restos en un sitio apropiado a la intemperie para favorecer su descomposición. Una vez realizado el desbroce, se puede acomodar los restos y ofertarlos, de manera que los mismos pobladores puedan llegar a recogerlos, evitando costos de transporte.
- *Los residuos vegetales que no se pueden vender y los residuos de construcción.* Otra alternativa de disposición final para la materia vegetal es ofrecer como proyecto a organismos pertinentes el compostaje de los residuos a fin de que les den un valor agregado.

### PROCESO: Recepción y almacenamiento

- *Inspección previa del empaque de los materiales.* Por ejemplo, se puede establecer un sistema de muestreo por lotes (Ejemplo de hoja de inspección en Anexo B) en cada recepción de materiales. Esto se aplica en aquellos materiales que se reciben en sacos, no a granel.
- *Manejo adecuado de los insumos en el momento del traslado.* Al momento del traslado desde los vehículos que entregan los materiales, es recomendable hacer conciencia en aquellos que se encuentren involucrados en el manejo y traslado de materiales para evitar desperdicios por la manipulación inadecuada. Es importante hacer notar que la manipulación es doble, ya que el proveedor descarga los insumos en una bodega central ubicada en Santiago de

María, Usulután y de ahí son trasladados a medida se necesiten hacia el sitio de perforación (Ver Anexo D).

- *Almacenamiento controlado de los materiales.* Se puede establecer un programa de almacenamiento sistematizado que permita ejercer un mayor control en etapas posteriores sobre el inventario existente (Ver Anexo E).
- *Orden y limpieza en lugares de almacenamiento.* Como práctica de mejora, se puede implementar un programa de limpieza periódica en el área de bodega de materiales a fin de poder mantener limpia la sección y además poder mantener ordenado.

#### PROCESO: Preparación de lodos

- *Manejo adecuado en la dosificación de los insumos y control de inventario.* El ingeniero de lodos es el responsable de la administración y el control de inventario de materiales utilizados en la preparación de los lodos de perforación, pero es necesario que exista un control in situ sobre el consumo de materiales en el momento de la mezcla para tener un control más minucioso que el que se lleva en las bitácoras de lodos.
- *Recoger los empaques.* Mantener el orden acopiando los empaques en un sitio destinado a este fin, de forma que se logre mantener el orden y no exista extravío de los empaques y entregarlos a los proveedores de los insumos para que ellos se encarguen de su disposición final, previa autorización de la municipalidad.
- *Manejo adecuado de los insumos en el momento del traslado.* Cuando se trasladan los materiales hacia el sitio de preparación es importante mantener las buenas prácticas de orden y limpieza para evitar pérdidas de material y contaminación por dispersión de partículas.
- *Orden y limpieza en el sitio de preparación.* Debido a las condiciones del sitio de preparación, cualquier material que se bote en el sitio es

muy difícil de recuperar por lo que realizar la operación de la forma más ordenada posible garantiza la disminución de pérdidas.

#### PROCESO: Perforación

- *Instalación de barreras acústicas alrededor del área de trabajo.* Cuando se realizó un mapa con los puntos de muestreo en la plataforma y en la comunidad más cercana se pudo observar que los valores más altos en los niveles de presión sonora corresponden o se concentran en la zona de la plataforma con niveles de hasta 106 dB(A)<sup>2</sup> y con mínimo 92 dB(A) en los bordes de la misma. Las principales fuentes de ruido fueron los motores del malacate, generadores y bombas triplex.

Según las normas de niveles de ruido (Ver Anexo F), los niveles obtenidos en el proceso de perforación son excesivos, por eso es recomendada la instalación de barreras de sonido. Actualmente se está colocando una barrera de sonido que reduce de 15 a 17 dB(A). Nuestra recomendación es dejarlas permanentemente mientras se está perforando, aislando sobre todo el área de motores, además que los trabajadores usen equipo de protección auditivo mientras permanezcan en la plataforma de perforación.

- *Mejorar programa de mantenimiento para optimizar la eficiencia de combustión.* Se debe mejorar el programa de mantenimiento en los motores que son a base de Diesel, ya que con esto se lograría una mejor combustión, menos emisiones de gases de combustión, menor gasto de combustible, menor riesgo de paros inesperados por fallas en el equipo, etc.
- *Implementación de reglamento de seguridad industrial para obligatoriedad de equipo de protección.* La seguridad industrial se

---

<sup>2</sup> El dB(A) es la unidad en la que se mide el nivel de ruido (presión sonora) en la escala de ponderación A, mediante el cual, el sonido que se recibe el aparato medidor, es filtrado de forma parecida como lo hace el oído humano

trata de proteger al trabajador, de ahí la importancia que tiene el programa de seguridad industrial, además es importante que el trabajador conozca los peligros a que está expuesto y cómo protegerse de ellos. En cualquier actividad que tenga un riesgo a la salud el trabajador debe utilizar su equipo de protección, se debe capacitar al trabajador para su uso y educarlo a que siempre lo use de forma adecuada.

- *Control de inventario de la cantidad de todos los desechos.* Debe llevarse un inventario exacto de la cantidad de desechos que salen producto de la perforación, ya que es muy importante llevar un control exacto de la cantidad de desechos generados, ya que conociendo la cantidad exacta se podrá disponer mejor de ellos y no tener problemas posteriores cuando se requiera la cantidad diaria de desechos.
- *Disposición final de chatarra y aceite residual.* Actualmente la disposición final de toda la chatarra (desechos de hierro que ya no se pueden usar en el proceso) es venderla a una empresa, que se encarga de reciclarla, esto sucede al final de todo el proceso de perforación de un pozo, durante el proceso se acumula en un espacio abierto, aquí debe hacerse ordenadamente, solo la chatarra no poner ningún otro tipo de desecho. Con respecto al aceite residual este es transportado en barriles a una empresa que se encarga de su eliminación.

#### SUBPROCESO: Manejo de lodos

- *Disposición final de recortes y otros desechos sólidos provenientes del manejo de los lodos de perforación.* Los recortes de perforación no es más que rocas recogidas en estado húmedo y con presencia de residuos de roca arcillosa, actualmente se mezcla con cemento y se recoge en camiones y se lleva a su sitio de acopio que es una pileta

que se va llenando, cuando se llena se tapa con una capa de tierra y se arboriza, ese es el mismo destino de los lodos residuales de perforación. Los recortes pueden usarse como material inerte en construcción de calles, u otras superficies. El lodo de perforación como su mayor contenido es bentonita (también tiene otros aditivos en menor cantidad para obtener las propiedades reológicas deseadas) este puede tener varios usos como para la construcción de ladrillos, para la impermeabilización de rellenos sanitarios.

#### PROCESO: Cementación

- *Implementación de reglamento de seguridad industrial para obligatoriedad de equipo de protección.* Al igual que en el proceso de perforación aquí se deben de mantener los mismos lineamientos de seguridad industrial para la protección de todos los trabajadores.
- *Instalación de barreras acústicas alrededor del área de trabajo.* Al realizar el mapa de sonido para este proceso se obtuvieron que las mayores fuentes de ruido fueron los generadores y el equipo de cementación (estos son de una empresa contratada para hacer este proceso y trae su propio equipo), con valores de 92 dB(A), al observar el valor máximo se tiene la necesidad de seguir con las barreras de sonido, y debe de haber una barrera adicional en este proceso aislando los equipos de cementación.
- *Recoger los empaques.* La compañía contratada para hacer la cementación se debe de encargar de la disposición final de los empaques de sus insumos, recolectándolos de una forma ordenada.

#### PROCESO: Prueba de producción

- *Instalación de barreras acústicas alrededor del área de trabajo.* En este proceso se deben de mantener las barreras de sonido para la atenuación de este, ya que se obtiene valores de 106 a 107 dB (A) en

la zona de los compresores que se utilizan para la inducción del pozo. Se debe de seguir con las recomendaciones que se hicieron en el proceso de perforación.

### 6.2.3 Fase III: Implementación de medidas

Esta es la última fase del análisis, donde se dará el plazo en que se deben implementar las opciones de mejora que se han propuesto para hacer el proceso ecoeficiente, esto se muestra en la tabla 19.

**Tabla 19.** Período sugerido para implementación de opciones de mejora

Mejora	Plazo de ejecución
Vender madera a los pobladores	Corto plazo
Residuos vegetales y de construcción entregar al gestor	
Inspección previa de empaques	
Almacenamiento controlado	
Orden y limpieza	
Manejo adecuado en la dosificación y control de inventario	
Recoger los empaques	
Manejo adecuado de los insumos	
Orden y limpieza en el sitio de preparación	
Instalación de barreras acústicas	
Programa de mantenimiento	
Implementación de equipos de protección	
Control de inventario en la cantidad de desechos	
Disposición final de Chatarra y aceite residual	
Disposición final de recortes y lodos de perforación	
Implementación de reglamento de seguridad industrial para obligatoriedad de equipo de protección	
Instalación de barreras acústicas alrededor del área de trabajo	
Recoger los empaques	
Instalación de barreras acústicas alrededor del área de trabajo	

Se ha colocado un período de implementación a corto plazo, pero este realmente depende de la ejecución de los próximos proyectos de perforación con implementación simultánea.

## CONCLUSIONES

- Para volver un proceso ecoeficiente es necesario de que la gerencia este conciente de la importancia de su implementación, lo cual garantizará el éxito de la transformación del proceso.
- Un proceso ecoeficiente aumenta la competitividad de la empresa, ya que ahorra costos y disminuye el impacto negativo al ambiente, cumpliendo así con estándares internacionales brindándole más oportunidades a nivel mundial.
- Entre los beneficios económicos que se pueden obtener en la implementación de la ecoeficiencia es la disminución de consumo de combustible, ya que mejorando la eficiencia de motores para la generación de energía que es donde se da el mayor consumo, se reduce el costo y por ende hay un ahorro.
- Uno de los beneficios de los sistemas de seguridad es el mejoramiento de las condiciones de trabajo, ya que genera un mejor ambiente laboral aumentando el rendimiento de los trabajadores con una mayor disponibilidad de estos a realizar un mejor trabajo.
- La mayoría de los beneficios que se presentan en nuestro estudio son intangibles, y para la mayor parte de las necesidades de la empresa pueden ser incluso más importantes que los tangibles, ya que contribuyen a mejorar las condiciones de trabajo, al medio ambiente, a la imagen de la empresa, etc.

- Para desarrollar un análisis de viabilidad económica es necesario que se conozca a profundidad el valor de ingresos y egresos totales en el ciclo del proceso, por tal motivo no se pudo hacer este análisis en nuestro estudio, ya que no se contaba con esos datos.
- Debido a la forma que debe implementarse las opciones de mejora sugeridas en el CAPITULO VI, se considera que la manera más eficiente de implementarla es de forma simultánea a la ejecución del próximo proyecto de perforación, incluyéndose los puntos de mejora en la planificación del mismo.

## RECOMENDACIONES

- Durante todo el proceso de perforación se debe concientizar al operario de mantener las normas de higiene y seguridad industrial para proteger su salud, ya que esta es la que puede resultar más afectada.
- Para un mayor control en el gasto de combustible se requiere generar un mayor control, donde se registre el consumo de este, particularizando para cada equipo.
- Para poder implementar un proyecto de mejora, debe haber un control específico tanto de las entradas como consumos del proceso, esto servirá de base para el balance de materia y energía.
- Al momento de entregar los empaques a los proveedores, se debe verificar la correcta disposición de estos, es decir que se debe verificar cual es su disposición final y que no se viole ninguna ley ambiental.
- Los niveles de ruido que se dan durante todo el proceso de perforación, sobrepasan la norma permitida aún con la barrera de sonido que se le esta poniendo actualmente, por lo que se deberían hacer más estudios para tratar de aislar mejor los generadores tomando en cuenta de que deben de tener una ventilación adecuada para evitar problemas mecánicos por recalentamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

### Libros

- Comité de estudio de fluidos de perforación del distrito sur de la API "Principles of drilling fluid control". 12ª Edición. Austin, Texas, 1969.
- Lúdvík S. Georgsson. "Geothermal training in Iceland. Reports of the United Nations University Geothermal Training Program in 1998". Editado Islandia, 1998.
- Gerard Kiely. "Ingeniería Ambiental". Editorial Mc Graw Hill. España, 1999
- Fundación Marcelino Botín. "Las Aguas Subterráneas". Grupo Industrial Sel, Artes Graficas

### Informes Técnicos

- Tomas Campos. "Fundamentos de Geotermia". Julio 1991.
- "Diagnostico Ambiental De la Central Geotérmica de Berlín". Unidad Geoambiental. Geotérmica Salvadoreña, mayo 2002.
- "Estudio de impacto ambiental para el proyecto: Ampliación Central Geotérmica Berlín, Usulután" Unidad Geoambiental. Geotérmica Salvadoreña, septiembre 2002.

- "Evaluación hidrogeológica de la zona sur campo geotérmico de Berlín". Unidad Geoambiental. Geotérmica Salvadoreña, marzo 2003.
- Francisco E. Montalvo y Gudni Axelsson. "Assessment of reservoir changes during six years of production and reinjection in the Berlín geothermal field (El Salvador)". Geotérmica Salvadoreña S.A. de C.V. (GESAL), El Salvador, C.A. Orkustofnun, National Energy Authority of Iceland, Reykjavík, Iceland.
- José Antonio Rodríguez. "Geothermal development in El Salvador – A country update". Geotérmica Salvadoreña S.A. de C.V.
- Esther E. Kim. "Geothermal power in Central America: A case study of the Miravalles project, Costa Rica". Sustainable Energy Term Paper. Mayo, 2000.
- José Antonio Rodríguez y Ada Herrera. "International geothermal development. Geothermal El Salvador". Geotérmica Salvadoreña, S.A. de C.V.
- A. Matus, F. Montalvo, W. Guevara, M. Magaña. "Determination of recharge and evolutionary study in new wells at Berlín geothermal field using isotopes". Comisión Ejecutiva del Río Lempa (CEL), El Salvador.
- "Geothermal resources in Latin America and the Caribbean". Liz Battocletti y Bob Lawrence Asociados, Inc. para Sandia National Laboratories, el Departamento de Energía de Estados Unidos y la oficina de tecnologías geotérmicas. Febrero, 1999.

- “Estudio geológico complementario zona sur y este, Campo Geotérmico de Berlín”. Unidad de Geología. Geotérmica Salvadoreña, julio 2000.
- “Eco-eficiencia”. Seminario Latinoamericano de Ecoeficiencia, El Salvador, 12 a 15 de Mayo de 2002. Fundación Entorno.

## **Tesis**

- Hernández, C. B; Mendoza, J. E. “Optimización del proceso de floculación de la sílice, caracterización fisicoquímica y alternativas de uso del sólido obtenido, utilizando como materia prima el agua residual del campo geotérmico”. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Químico de la Universidad de El Salvador. Diciembre 2000.
- Campos, C. y Morales, C. “Diseño de un sistema de seguridad Química e Higiene Industrial aplica a la Industria de jabones de lavandería y lejías”. Tesis presentada para optar al título de Ingeniera Química de la Universidad de El Salvador. Abril 2004.

## **Información Electrónica (Internet)**

- <http://www.eco2site.com/informes/imp-amb-renov3.asp>
- [www.panoramaenergetico.com](http://www.panoramaenergetico.com)
- [www.marn.gob.sv](http://www.marn.gob.sv)
- [www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/ser/geo/geo.asp](http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/ser/geo/geo.asp)

- [www.forumambiental.org/cast/archivos/guia.htm](http://www.forumambiental.org/cast/archivos/guia.htm)
- A. Redondo. Curso Práctico de Contabilidad General y Superior. Tomo I. Hangren, Harrison y Robinson. Contabilidad. Editorial Hispanoamericana. [www.monografias.com](http://www.monografias.com)
- [www.mty.itesm.mx/decic/centros/ciads/cien/espanol/texto/eco/freco.htm](http://www.mty.itesm.mx/decic/centros/ciads/cien/espanol/texto/eco/freco.htm)
- [www.fundacion-entorno.org](http://www.fundacion-entorno.org)

## **Revistas**

- Revista Industria, ASI (Asociación Salvadoreña de Industriales), N° 308. Artículo: "Ecoeficiencia", Pag. 2,3 y 4. El Salvador.

## GLOSARIO

**ACUÍFERO:** Manto de agua en una roca permeable.

**ADEME:** Tubería de revestimiento.

**AGUA METEORICA DE RECARGA:** agua lluvia que infiltrada hacia el subsuelo a través de rocas no consolidadas, fallas geológicas, chimeneas volcánicas, etc., pueden alcanzar grandes profundidades, circular durante tiempos muy grandes adquiriendo alta temperatura (y salinidad), constituyéndose en recarga o abastecimiento natural de un reservorio geotérmico. En general, también existen recargas de origen no meteórico.

**ANDESITA:** Roca ígnea de grano fino, compuesta de un 75% de plagioclasas feldespáticas y un 25% de silicatos ferromagnesianos, derivada de cristalización friccional de magma basáltico. Importante como lava, es característica de los procesos de edificación de volcanes alrededor del Océano Pacífico.

**ANOMALIA:** Ampliamente usado en explotación geotérmica se refiere a variaciones o valores macadamamente diferentes de un parámetro físico, químico o termodinámico, con respecto a referencias establecidas para un suelo normal o no geotérmico.

**BASALTO:** Roca ígnea de grano fino, dominada por minerales de color oscuro, consistente de plagioclasas feldespáticas (calcio, sodio, aluminio, y silicatos, usualmente presentes en cantidades mayores de 50%), y silicatos ferromagnesianos.

**BASAMENTO:** Geológicamente, las rocas ígneas o meteóricas más antiguas de la corteza terrestre. En términos de exploración geotérmica, constituyen el lecho de un reservorio o la superficie por debajo de la cual no hay interés de investigación.

**BENTONITA:** Arcilla coloidal altamente plástica que incrementa su volumen con la adición de agua. Componente principal o típico de un lodo de perforación (lodo bentonítico).

**CABEZAL:** Parte de las máquinas–herramientas en la que van montados los elementos que transmiten el movimiento del motor al eje o árbol de transmisión.

**CALDERA:** Gran depresión de forma circular, originada por el colapso de una estructura volcánica, a su vez consecuencia del desalojo súbito de su cámara magmática.

**CORTEZA:** Capa exterior de la tierra, llamada también litosfera.

**EXTRUSIVO:** Término aplicado a rocas ígneas que se han enfriado y solidificado después de haber alcanzado la superficie de la tierra.

**FALLA:** En geología, una fractura o zona de fracturas de la corteza, superficial o profundas, a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento de bloques litológicos.

**GRADIENTE (GEOTÉRMICO):** La razón de incremento de la temperatura con la profundidad. Cerca de la superficie de la tierra, varía de lugar a lugar dependiendo del flujo de calor en la región y de la conductividad térmica de las rocas. Un rango aceptado para el gradiente promedio de la corteza terrestre en general, es de 25 a 30 °C/km.

**MAGMA:** Rocas fundidas dentro de la tierra, de las cuales se forman rocas ígneas por enfriamiento.

**MANIFESTACIONES (GEOTÉRMICA SUPERFICIALES):** Las diferentes formas de descarga natural de un suelo geotérmico (suelo humeante, geiser, fumarola, manantial caliente, charco de lodo, etc.), cada una con diferencias en el fluido y en el proceso físico que les origina.

**PERDIDAS:** En perforación, las filtraciones del fluido de perforación (lodo o agua) hacia las paredes del agujero. Las zonas donde estas ocurren indican permeabilidad. Son indeseables cuando se presentan en zonas

que van a ser entubadas, pero deseables cuando se trata de la zona que se proyecta para la producción o reinyección de un fluido.

**POZO:** Perforación vertical, cilíndrica y muy profunda, efectuada en las capas superficiales de la corteza terrestre y que alcanza un yacimiento.

**REINYECCIÓN:** La acción de devolver hacia el interior de un pozo o acuífero, el líquido residual que se obtuvo después de separar y utilizar el vapor que tenía la mezcla original extraída de otro pozo. Puede hacerse mediante bombeo o utilizando como impulsores la presión propia del líquido (al que se separó del vapor) y la gravedad (si el pozo reinyector esta a menor elevación que el productor).

**RESIDUOS PELIGROSOS:** Es el que cumple una o mas de las siguientes características: 1. Inflamable, 2. Reactiva, 3. Corrosiva, 4. Toxica.

**TECTONICA:** Pertenece a las estructuras y formas externas resultantes de la deformación de la corteza terrestre.

**ZAPATA:** En perforación, la zona del extremo inferior de cada tubería de revestimiento (cementada) que se ha colocado en un pozo. Coincide por lo tanto, con los cambios de diámetro del agujero.

# **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**FUNDACION ENTORNO**

La Fundación Entorno trabaja desde 1995 para hacer compatible el desarrollo económico con la protección del medio ambiente. A lo largo de estos años su principal misión ha sido servir de ayuda a las empresas que quieren afianzar su compromiso con el medioambiente a través de la innovación y la exploración de nuevas líneas de actuación. Constituida como entidad sin ánimo de lucro, la Fundación Entorno ha ido ampliando su ámbito de acción convirtiéndose en la organización líder en nuestro país en materia de sostenibilidad. Su labor ha sido reconocida, entre otros, con el Premio Nacional de Medio Ambiente 1999, el Premio de Medio Ambiente de Expansión y Garrigues & Andersen 2001, el Premio Europeo a la Ecoeficiencia 2001 y los premios periodísticos de Ecovidrio y el V Premio Nacional de Periodismo 'Doñana' Desarrollo Sostenible al Canal medioambiental y al portal [Empresasostenible.info](http://Empresasostenible.info).

Actualmente, las líneas principales de acción de Fundación Entorno se centran en la extensión de la responsabilidad empresarial a toda la cadena de proveedores, trabajando tanto con las grandes empresas españolas, como con Pymes ayudándolas a que puedan avanzar en su mejora ambiental. Su actividad se desarrolla a lo largo de todo el territorio nacional, coordinando los trabajos desde su sede de Madrid. Cuenta con un equipo de 15 expertos que conducen los proyectos desde su diseño estratégico hasta su evaluación y difusión. El incremento de la demanda de los programas de la Fundación por parte de las empresas españolas ha hecho posible la creación de dos nuevos equipos de trabajo especializados en asesoramiento a empresas y comunicación. Respecto a este último, una de las líneas de trabajo más importantes de la organización es la promoción de la transparencia y la comunicación por parte de las empresas a todos sus agentes implicados- accionistas, clientes, proveedores, administración, ciudadanía, entre otros-. Estas actuaciones no se limitan a los aspectos ambientales, sino que integran las actuaciones económicas y sociales, ofreciendo un escenario completo

de múltiples interrelaciones según los dictados de la triple cuenta de resultados.

Las actividades de la Fundación se caracterizan por su carácter innovador. Nuestro interés es buscar nuevos planteamientos, explorar otros mercados, adaptar experiencias de éxito de cualquier parte del mundo. Y así, de acuerdo al interés que despierten en nuestro tejido empresarial, lanzarlas y diseñar las herramientas que faciliten su implantación.

**ANEXO B**

**HOJA DE CONTROL DE**

**PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO**

HOJA DE CONTROL DE PROCEDIMIENTO	SEMANA DEL AL DE
Recepción de materia prima en sacos	RESPONSABLE:

Fecha	Material recibido	Cantidad recibida	Empaques defectuosos

**PROCEDIMIENTO:**

- Debe documentarse el tamaño del lote recibido.
- Se debe establecer en base al tamaño del lote y las exigencias propias de la empresa el nivel de rigurosidad en la inspección.
- Luego se procede a determinar el tamaño de la muestra a partir de las determinaciones anteriores.
- Se realiza el muestreo y se toma la decisión de aceptación o rechazo según la norma.

**ANEXO C**  
**METODO DE MUESTREO**  
**MILITARY STANDARD 105D**

**Tabla C1.** Selección del código del tamaño de muestra.

Tamaño del lote o grupo			Nivel de inspección general		
			I	II	III
2	a	8	A	A	B
9	a	15	A	B	C
16	a	25	B	C	D
26	a	50	C	D	E
51	a	90	C	E	F
91	a	150	D	F	G
151	a	280	E	G	H
281	a	500	F	H	J
501	a	1200	G	J	K
1201	a	3200	H	K	L
3201	a	10000	J	L	M
10001	a	35000	K	M	N
35001	a	150000	L	N	P
150001	a	500000	M	P	Q
500001	y	más	N	Q	R

**Tabla C2.** Selección de tamaño de muestra y nivel de calidad aceptable en inspección normal.

Código tamaño muestral	Tamaño de la muestra	Nivel de calidad aceptable (inspección normal)											
		1.0		1.5		2.5		4.0		6.5		10.0	
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re
A	2							↓	↓	0	1		
B	2					↓	↓	0	1				
C	5			↓	↓	0	1					↓	↓
D	8	↓	↓	0	1					1	2	2	3
E	13	0	1					1	2	2	3	3	4
F	20					1	2	2	3	3	4	5	6
G	32			1	2	2	3	3	4	5	6	7	8
H	50	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11
J	80	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15
K	125	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22
L	200	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	↑	↑
M	315	7	8	10	11	14	15	21	22	↑	↑		
N	500	10	11	14	15	21	22	↑	↑				
P	800	14	15	21	22	↑	↑						
Q	1250	21	22	↑	↑								
R	2000	↑	↑										

↓ Use primero el plan de muestreo debajo de la flecha. Si el tamaño muestral es igual al tamaño del lote o de grupo o lo excede, efectuaremos la inspección al 100%.

↑ Use en primer término el plan arriba de la flecha.

Ac = Número de aceptación.

Re = Número de rechazo.

**ANEXO D**

**HOJA DE INSTRUCCIÓN**

**PARA MANIPULACIÓN DE INSUMOS.**

**DIRIGIDO A EMPLEADOS Y**

**SUBCONTRATISTAS**

Al momento de realizar traslados de cualquier material se debe considerar:

- Utilizar equipo de protección recomendado según el tipo de material que está siendo trasladado (Botas industriales, guantes y gafas protectoras, mascarilla, etc.).
- Colocar de manera ordenada los insumos dentro del medio en que se transportan; por ejemplo, para materiales en sacos acomodar en pallets (bultos) ordenados en disposición de amarre (sacos colocados transversalmente en niveles alternados).
- Para movilizar la carga no se debe lanzar los sacos para evitar que por la fuerza que se requiere para levantarlo, se dañen los empaques y se den dispersiones de partículas o pérdidas durante el traslado.
- Si se va a descargar el contenido de los sacos en depósitos a granel, ya sea en la bodega central o en la plataforma, debe abrirse los sacos de forma ordenada y con herramienta adecuada para evitar aperturas violentas que deriven en dispersión de partículas o pérdidas de material.
- Al momento de vaciar empaques, se debe recoger estos de forma ordenada en un sitio destinado a tal fin para que la empresa proveedora pueda disponer adecuadamente de la totalidad de los empaques desechados.

**ANEXO E**  
**CONTROL DE INVENTARIOS**

La base de toda empresa comercial es la compra y venta de bienes o servicios; de aquí la importancia del manejo del inventario por parte de la misma. Este manejo contable permitirá a la empresa mantener el control oportunamente, así como también conocer al final del periodo contable un estado confiable de la situación económica de la empresa. Ahora bien, el inventario constituye toda aquella mercancía que posee una empresa en el almacén valorada al costo de adquisición para actividades productivas.

### **¿Qué son los inventarios?**

La contabilidad para los inventarios forma parte muy importante para los sistemas de contabilidad de mercancías, porque la venta del inventario es el corazón del negocio. El inventario es, por lo general, el activo mayor en sus balances generales, y los gastos por inventarios, son usualmente el gasto mayor en el estado de resultados.

El Inventario Inicial representa el valor de las existencias de mercancías en la fecha que comenzó el periodo contable. Esta cuenta se abre cuando el control de los inventarios, en el control general, se lleva en base al método especulativo, y no vuelve a tener movimiento hasta finalizar el periodo contable cuando se cerrará con cargo a costo de ventas o bien por Ganancias y Perdidas directamente.

El Inventario Final se realiza al finalizar el periodo contable y corresponde al inventario físico de la propiedad de la empresa y su correspondiente valoración. Al relacionar este inventario con el inicial, con las compras y ventas netas del periodo se obtendrá las Ganancias o Pérdidas Brutas en Ventas de ese período.

El control interno de los inventarios se inicia con el establecimiento de un departamento de compras, que deberá gestionar las compras de los inventarios siguiendo el proceso de compras.

## **Sistemas de inventario**

### a) El Sistema de Inventario Perpetuo

En el sistema de Inventario Perpetuo, el negocio mantiene un registro continuo para cada artículo del inventario. Los registros muestran por lo tanto el inventario disponible todo el tiempo. Los registros perpetuos son útiles para preparar los estados financieros mensuales, trimestral o provisionalmente. El negocio puede determinar el costo del inventario final y el costo de las mercancías vendidas directamente de las cuentas sin tener que contabilizar el inventario.

El sistema perpetuo ofrece un alto grado de control, porque los registros de inventario están siempre actualizados. Anteriormente, los negocios utilizaban el sistema perpetuo principalmente para los inventarios de alto costo unitario, como las joyas y los automóviles; hoy día con este método los administradores pueden tomar mejores decisiones acerca de las cantidades a comprar, los precios a pagar por el inventario, la fijación de precios al cliente y los términos de venta a ofrecer. El conocimiento de la cantidad disponible ayuda a proteger el inventario.

Los registros de inventario perpetuo proporcionan información para las siguientes decisiones:

1. La mayoría de locales guarda la mercancía en sus almacenes, por lo tanto los empleados no pueden examinar visualmente la mercancía disponible y dar respuesta en ese mismo instante. El

sistema perpetuo le indicará oportunamente la disponibilidad de dicha mercancía.

2. Los registros perpetuos alertan al negocio para reorganizar el inventario cuando éste se muestra bajo.
3. Si las compañías preparan los estados financieros mensualmente, los registros de inventario perpetuo muestran el inventario final existente, no es necesario un conteo físico en este momento; sin embargo, es necesario un conteo físico una vez al año para verificar la exactitud de los registros.

#### b) El Sistema de Inventario Periódico

En el sistema de inventario periódico la empresa no mantiene un registro continuo del inventario disponible, más bien, al fin del periodo, el negocio hace un conteo físico del inventario disponible y aplica los costos unitarios para determinar el costo del inventario final. Ésta es la cifra de inventario que aparece en el Balance General. El sistema periódico es conocido también como sistema físico, porque se apoya en el conteo físico real del inventario. El sistema periódico es generalmente utilizado para contabilizar los artículos del inventario que tienen un costo unitario bajo. Los artículos de bajo costo pueden no ser lo suficientemente valiosos para garantizar el costo de llevar un registro al día del inventario disponible. Para usar el sistema periódico con efectividad, el propietario debe tener la capacidad de controlar el inventario mediante la inspección visual. Por ejemplo, cuando alguien le solicita ciertas cantidades disponibles, el dueño o administrador pueden visualizar las mercancías existentes.

Los inventarios son contabilizados normalmente por su costo histórico, como lo requiere el principio del costo. El costo de inventario incluye el precio de factura, menos cualquier descuento de compras, más el

impuesto sobre las ventas, los aranceles, los cargos por transporte, el seguro mientras está en tránsito y todos los otros costos en que se incurre para lograr que las mercancías estén disponibles.

### **Control Interno Sobre Inventarios**

El control interno sobre los inventarios es importante, ya que los inventarios son el aparato circulatorio de una empresa. Las compañías exitosas tienen gran cuidado de proteger sus inventarios. Los elementos de un buen control interno sobre los inventarios incluyen:

1. Conteo físico de los inventarios por lo menos una vez al año, no importando cual sistema se utilice
2. Mantenimiento eficiente de compras, recepción y procedimientos de embarque
3. Almacenamiento del inventario para protegerlo contra el robo, daño ó descomposición
4. Permitir el acceso al inventario solamente al personal que no tiene acceso a los registros contables
5. Mantener registros de inventarios perpetuos para las mercancías de alto costo unitario
6. Comprar el inventario en cantidades económicas
7. Mantener suficiente inventario disponible para prevenir situaciones de déficit, lo cual conduce a pérdidas en ventas
8. No mantener un inventario almacenado demasiado tiempo, evitando con eso el gasto de tener dinero restringido en artículos innecesarios

**ANEXO F**  
**NORMATIVA PARA LÍMITE DE RUIDO**

**Tabla F1.** Límites máximos permisibles de ruidos provenientes de fuentes fijas

<b>Ubicación de la fuente</b>	<b>06:00 a 22:00 horas, dB(A)</b>	<b>22:00 a 06:00 horas, dB(A)</b>
Industrial y comercial	<b>75</b>	<b>70</b>
Residencial, institucional, hospitalarios y educacional	<b>55</b>	<b>45</b>

Fuente: NSO 13.01.01:00 *Calidad del Aire, inmisiones y emisiones atmosféricas;*

Norma Salvadoreña CONACYT

**ANEXO G**

**ACTIVIDADES REALIZADAS**

**ACTUALMENTE DURANTE EL PROCESO**

**DE PERFORACION PARA MINIMIZAR**

**EL IMPACTO AMBIENTAL**

Actualmente, La Geo y la Perforadora Santa Barbara se encuentra haciendo esfuerzos por implementar sistemas que permitan mantener procesos ecoeficientes concentrados en la búsqueda de la mejora continua.

A continuación se presentan algunos ejemplos de prácticas existentes a lo largo del proceso.



Figura G1. Los campers de oficinas y laboratorios se mantienen en la periferia de la plataforma, con señalización para cada uno de los campers y para el estacionamiento de vehículos en posición de salida aledaño al área de oficinas.

Figura G2. Los recortes son retirados y depositados en el transporte destinado para su traslado al sitio de disposición final, un área donde los recortes sirven de relleno y que al tope de su capacidad será cubierto con tierra y reforestado.





Figura G3. La pileta de lodos se encuentra contiguo a la plataforma de perforación, construida con materiales resistentes para prevenir en la medida de lo posible las fracturas de la estructura. En el diseño de la pileta se ha considerado una sección para recolección de otros desechos sólidos menores, los cuales son retenidos por medio de un "filtro" de grava.



Figura G4. El aceite residual del proceso se recoge en barriles. El aceite es vendido a otras empresas que lo utilizan como combustible. Es importante hacer notar que la disposición final de este residuo debe ser cuidadosamente estudiada

debido a que según reglamentos el aceite residual es considerado como un desecho peligroso debido a su inflamabilidad y efectos al medio ambiente.



Figuras G5, G6 y G7. En este conjunto de figuras se puede apreciar el área destinada al acopio de chatarra ubicada en uno de los costados posteriores de la plataforma del pozo TR-18; dicha área se encuentra delimitada. Es requerido que se acomoden los materiales en similitud

para facilitar la ubicación de artículos y mantener el orden.



El fluido de perforación se prepara con ciertos productos químicos que pueden ser:

- Soda cáustica
- Lignitos
- Lignitos cáusticos
- Lignosulfonatos (el ferrocromo fue suspendido)
- Polímeros (viscosificantes)

Dado el uso de algunos productos químicos, estos pueden provocar problemas al medio ambiente si son derramados. En los proyectos se han tomado las precauciones para evitar que esto suceda, se construyen presas para almacenar el lodo de desecho. Se tratan los desechos en las presas mezclándolos con material ligante hasta solidificarlos.

## PROCEDIMIENTO PARA EL MANEJO DE LA FASE LIQUIDA Y SÓLIDA DE LODOS DE PERFORACION

