



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ENERGÍA – ECONOMÍA DE LA ENERGÍA

**EVALUACIÓN DE LA REGULACIÓN DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS EN
MÉXICO**

MODALIDAD DE GRADUACIÓN: TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
EDUARDO MARTÍNEZ JUÁREZ

TUTOR PRINCIPAL
DRA. CLAUDIA SHEINBAUM PARDO, INSTITUTO DE INGENIERÍA-UNAM

MÉXICO, D.F. Febrero 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado

Presidente: Dra. Martín del Campo Márquez Cecilia

Secretario: Dr. Reinking Cejudo Arturo Guillermo

Vocal: Dra. Sheinbaum Pardo Claudia

1er. Suplente: Dra. Escobedo Izquierdo M. Azucena

2d o. Suplente: Dr. Álvarez Watkins Pablo

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Ciudad universitaria

TUTOR DE TESIS
CLAUDIA SHEINBAUM PARDO

FIRMA

Agradecimientos y dedicatorias

A la UNAM

En primera instancia quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México por la educación integral que me dio durante toda mi trayectoria como estudiante universitario dándome las herramientas necesarias para afrontar cualquier reto profesional y personal que se presente.

Al grupo iiDEA

Al grupo iiDEA que me abrió las puertas y me dio la oportunidad de trabajar en conjunto para poder realizar este trabajo de tesis, en especial al M.F. Héctor Aviña por el apoyo que me brindó durante mi estancia en el grupo para poder desarrollarme profesionalmente.

A la Dra. Claudia

Por su infinita paciencia, la confianza que siempre tuvo en mi trabajo y permitirme decidir libremente el rumbo de mi trabajo de tesis.

A mi familia

Agradezco a mis padres por darme las herramientas para ir siempre tras mis sueños y nunca darme por vencido

A mi madre

Gracias a mi madre por siempre estar dispuesta a acompañarme en todas esas largas noches de estudio sin tu no hubiera llegado hasta donde me encuentre.

A mi padre

Gracias a mi padre por siempre desear, anhelar y procurarme lo mejor para mí, gracias por enseñarme con el ejemplo.

A mi hermano Toño

Gracias por apoyarme en mi proceso de titulación, por demostrarme que siempre estaremos unidos sobre todo por ser eso un hermano para mí y por haber compartido toda nuestra niñez.

A Arely

Y para terminar con especial cariño a mi futura esposa Arely por motivarme a superarme día a día, has sido una pieza fundamental desde el inicio hasta el final de esta etapa, gracias por demostrarme siempre tu amor incondicional y por aceptar ser mi compañera de vida.

Te amo

*Aquellos que tienen
el privilegio de saber,
tienen la obligación
de actuar.*

ALBERT EINSTEIN.

Resumen

Ante la falta de regulación de los recursos geotérmicos de baja y media entalpía en México y aunado a que en el Instituto de Ingeniería de la UNAM se están desarrollando proyectos de baja y media entalpía, el grupo iiDEA, por medio de este trabajo busca impulsar el esclarecimiento del marco regulatorio sobre los recursos geotérmicos, tema que es de suma importancia para México por el gran potencial geotérmico con que cuenta y la poca explotación de los mismos.

Durante el desarrollo del trabajo se tuvo contacto con diversas instituciones tanto públicas como privadas para tener un panorama más amplio y ver de qué forma impacta en ellos la reciente ley de energía geotérmica promulgada en 2013, y se ve con mucho interés y entusiasmo que estas entidades muestren un gran interés en el desarrollo de proyectos que utilicen la geotermia de baja y media entalpía.

Este trabajo aparte de mostrar un análisis de los aspectos jurídicos en México también muestra una comparación con el régimen jurídico de algunos países de Latinoamérica, así como un análisis técnico y normativo de los proyectos del grupo iiDEA, para poder tener un desarrollo de proyectos integrales. Se ha visto durante el desarrollo del trabajo que es de suma importancia la incursión en la población para que se tenga una buena aceptación de los proyectos ya que sin esta aceptación los mismos nunca llegarán a ser lo que se planteó en un inicio.

Los proyectos de baja y media entalpía buscan hacer frente con tecnología mexicana, a problemáticas presentes día a día dentro de la población como lo son el suministro de electricidad y la escasez de agua y alimentos, con un ciclo binario de evaporación instantánea (CBEI), una desaladora modular geotérmica (DMG) y un deshidratador geotérmico de alimentos respectivamente.

Dentro de este trabajo también se hacen algunas propuestas de mejora al marco regulatorio para que con este trabajo se pueda llegar a las autoridades correspondientes y en conjunto poder crear un marco regulatorio más sólido que ayude al desarrollo de la geotermia en México.

Objetivos

Objetivo general

Analizar el régimen jurídico de los recursos geotérmicos en México, especialmente recursos de baja entalpia.

Objetivos específicos:

- Dar a conocer el estado actual del régimen jurídico de los recursos geotérmicos.
- Exponer el potencial con el que cuenta México de recursos geotérmicos.
- Comparar el régimen jurídico de México con el de algunos países de Latinoamérica.
- Determinar los requerimientos y normativas que se deben cumplir para la puesta en marcha de los proyectos iiDEA con geotermia de baja entalpia.

Hipótesis

Es posible implementar los proyectos de baja entalpia en México, desarrollados por el grupo iiDEA desde el punto de vista legal, logrando atacar problemas como la escasez de agua, alimento y la generación de electricidad mediante energía geotérmica.

Índice

JURADO ASIGNADO	II
AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS.....	III
RESUMEN	V
OBJETIVOS.....	VI
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABLAS.....	IX
NOMENCLATURA.....	X
INTRODUCCIÓN.....	1
LA ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	3
LA GEOTERMIA.....	3
CLASIFICACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	5
<i>Sistemas hidrotermales</i>	5
<i>Sistemas de roca seca caliente</i>	6
<i>Sistemas geopresurizados</i>	7
<i>Sistemas geotérmicos conductivos sedimentarios</i>	7
<i>Sistemas geotérmicos radiogénicos</i>	7
<i>Sistemas marinos</i>	8
<i>Sistemas magmáticos</i>	8
<i>Sistemas geotérmicos de agua caliente asociado con yacimientos de petróleo y gas</i>	9
<i>Sistemas geotérmicos supercríticos</i>	9
USOS DE LOS RECURSOS GEOTERMICOS	9
<i>Usos de la alta entalpia</i>	11
<i>Usos de la baja y media entalpia</i>	12
DESARROLLO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL MUNDO Y EN MÉXICO.....	14
HISTORIA DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	14
SITUACIÓN ACTUAL DE LA GEOTERMIA DE ALTA ENTALPIA	15
<i>Desarrollo de la energía geotérmica de alta entalpia en el mundo</i>	15
<i>Nuevos desarrollos y su importancia</i>	19
<i>Evolución de la capacidad instalada para generación eléctrica en México</i>	21
GEOTERMIA DE BAJA ENTALPIA	22
<i>En el mundo</i>	23
<i>México y su potencial geotérmico</i>	25
ASPECTOS AMBIENTALES.....	27
ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS.....	28
LOS PROYECTOS DE BAJA Y MEDIA ENTALPIA.....	31
LOS PROYECTOS DE BAJA Y MEDIA ENTALPIA	31
<i>Ciclo binario de evaporación instantánea</i>	32
<i>Desaladora modular geotérmica</i>	34

<i>Deshidratador geotérmico de alimentos</i>	36
VALIDACIÓN DE LOS PROYECTOS DE BAJA ENTALPIA	38
<i>NOM 150 SEMARNAT 2006</i>	39
<i>Reglamento de la ley de energía geotérmica</i>	41
<i>Normas aplicables al ciclo binario evaporación instantánea de generación eléctrica</i>	42
<i>Normas aplicables a la desaladora modular geotérmica</i>	43
<i>Otras normas aplicables al deshidratador geotérmico de alimentos</i>	44
MARCO REGULATORIO DE LA GEOTERMIA	46
ANTES DE LA REFORMA.....	46
<i>Recursos naturales en la constitución política de los Estados Unidos Mexicanos</i>	47
<i>Ley de aguas nacionales</i>	47
<i>Normatividad en torno a la energía geotérmica</i>	48
DESPUÉS DE LA REFORMA.....	49
<i>Cambios en los artículos 25, 27 y 28 constitucional</i>	49
<i>Cambios en la ley de aguas nacionales</i>	52
<i>Ley de energía Geotérmica</i>	53
LIMITACIONES REGULATORIAS PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE BAJA ENTALPIA	56
EXPERIENCIAS REGULATORIAS PARA LA BAJA ENTALPIA EN AMÉRICA LATINA	56
<i>Ley sobre concesiones de energía geotérmica (Chile)</i>	57
<i>Ley orgánica de recursos geotérmicos (Perú)</i>	57
<i>Ley de exploración y explotación de recursos geotérmicos (Nicaragua)</i>	58
<i>Ley general de la industria eléctrica (Honduras)</i>	58
COMPARACIÓN DEL MARCO REGULATORIO EN LATINOAMÉRICA.....	59
PROPUESTAS REGULATORIAS PARA AMPLIAR EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE BAJA Y MEDIA ENTALPIA.....	60
SUGERENCIAS PARA LA REGULACIÓN DE GEOTERMIA DE BAJA ENTALPIA	65
<i>En el Artículo 2 de la Ley de Energía Geotérmica:</i>	66
<i>En el Artículo 7 de la Ley de Energía Geotérmica:</i>	66
<i>En el Capítulo II de los registros, permisos y concesiones</i>	66
CONCLUSIONES	68
ANEXOS	70
CONCEPTOS MÁS RELEVANTES DE LA LEY DE ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	70
PUNTOS IMPORTANTES DE LA NOM 150 SEMARNAT	72
PUNTOS IMPORTANTES DEL REGLAMENTO DE ENERGÍA GEOTÉRMICA	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76

Lista de figuras

FIGURA 1.1 ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA	3
FIGURA 1.2 CLEPSYDRA GEYSER, LOWER GEYSER BASIN, YELLOWSTONE NATIONAL PARK, WYOMING	4
FIGURA 1.3 SISTEMAS HIDROTERMALES	6
FIGURA 1.4 SISTEMAS DE ROCA SECA CALIENTE FUENTE (LLOPIS & ANGULO, 2008)	6
FIGURA 1.5 SISTEMAS GEOPRESURIZADOS	7
FIGURA 1.6 SISTEMAS MARINOS	8
FIGURA 1.7 SISTEMA MAGMATICO	8
FIGURA 1.8 USOS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA	10
FIGURA 1.9 CICLO A CONTRAPRESIÓN	11
FIGURA 1.10 CICLO A CONTRAPRESIÓN	11
FIGURA 1.11 CENTRAL DE CICLO BINARIO	12
FIGURA 1.12 BOMBA DE CALOR	13
FIGURA 2.1 ANTIGUOS BAÑOS TERMALES.....	14
FIGURA 2.2 PRIMERA CENTRAL GEOTÉRMICA	15
FIGURA 15 PRIMERA CENTRAL GEOTÉRMICA (CHAMORRO, 2009)	15
FIGURA 16 GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN DIVERSOS PAISES (IEA, 2011).....	17
FIGURA 2.11 DISTRIBUCIÓN DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS MUNDIALES	23
FIGURA 2.14 MAPA DE BAJA CALIFORNIA CON ZONAS TERMALES	25
FIGURA 2.15 REDUCCIONES DE EMISIONES CON GEOTERMIA	28
FIGURA 2.16 IMPACTOS DEL USO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA	30
FIGURA 3.1 PROYECTOS IIIDEA DE BAJA Y MEDIA ENTALPIA	31
FIGURA 3.2 CICLO CBEI	33
FIGURA 3.3 DESALADORA MODULAR GEOTÉRMICA DMG	35
FIGURA 3.4 DESHIDRATADOR GEOTERMICO DE ALIMENTOS.....	37
FIGURA 3.5 LEYES QUE SE DEBEN CUMPLIR PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LOS PROYECTOS GEOTERMIOELÉCTRICOS	38
FIGURA 3.6 NOM 150 SEMARNAT.....	39
FIGURA 3.7CONTENIDO DEL REGLAMENTO DE LA LEY DE ENERGÍA GEOTÉRMICA	41
FIGURA 4.1 REGULACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA PREVIA A LA REFORMA DE 2013.....	46
FIGURA 4.2 CONTENIDO DE LA LEY DE ENERGÍA GEOTÉRMICA	54

Lista de tablas

TABLA 1.1 CLASIFICACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA	5
TABLA 1.2 USOS DE LA GEOTERMIA EN MÉXICO.....	13
TABLA 2.1 CAPACIDAD TOTAL INSTALADA DEL AÑO 1950 A 2010.....	18
TABLA 2.2 APROVECHAMIENTO TÉRMICO EN RECURSOS DE BAJA ENTALPIA	23
TABLA 2.3 PRINCIPALES ESTIMACIONES DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO DE MÉXICO PARA GENERAR ELECTRICIDAD A PARTIR DE RECURSOS DE TIPO HIDROTERMAL	26
TABLA 2.4 COMPARATIVA DE EMPLEO PARA DOS TIPOS DE ENERGÍA	28
TABLA 3.1 DATOS OPERATIVOS DEL CBEI.....	34
TABLA 3.2 DATOS OPERATIVOS DE LA DMG	36
TABLA 3.3 DATOS OPERATIVOS DEL DESHIDRATADOR GEOTÉRMICO	37
TABLA 3.4 OTRAS NORMAS APLICABLES AL CICLO BINARIO DE EVAPORACIÓN INSTANTÁNEA.....	42
TABLA 3.5OTRAS NORMAS APLICABLES A LA DESALADORA MODULAR GEOTÉRMICA	43
TABLA 3.6 OTRAS NORMAS APLICABLES AL DESHIDRATADOR GEOTÉRMICO DE ALIMENTOS	45
TABLA 4.1CAMBIOS IMPORTANTES DENTRO DE LA CONSTITUCIÓN	51
TABLA 4.2COMPARACIÓN ENTRE LA ANTERIOR Y PRESENTE REGULACIÓN.....	55

TABLA 4.3 CERTIDUMBRES E INCERTIDUMBRES DE LA REGULACIÓN	56
TABLA 4.4 COMPARACIÓN ENTRE LAS LEYES DE LATINOAMÉRICA	59

Nomenclatura

CBEI	Ciclo binario de evaporación instantánea
CERs	Certificados de energías renovables
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CO ₂	Dióxido de carbono
DMG	Desaladora modular geotérmica
DOF	Diario oficial de la federación
EJt	Exa Joule térmicos
GWh	Giga Watt hora
GEA	Geothermal Energy Association
iiDEA	Instituto de ingeniería desalación y energías alternas
IEA	International Energy Agency
KWe	Kilo Watt eléctrico
MtCO ₂	Millones de toneladas de dióxido de carbono
MWe	Mega Watt eléctrico
MWt	Mega Watt térmico
PJ	Peta Joule
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
SENER	Secretaria de energía

Introducción

El objetivo del presente trabajo es analizar el régimen jurídico de los recursos geotérmicos en México antes y después de la reciente reforma energética, así como proponer adecuaciones que permitan el desarrollo de proyectos de aprovechamiento de la energía geotérmica de baja entalpía.

Dentro de la clasificación de la geotermia se encuentra la geotermia de baja entalpía la cual incluye los recursos geotérmicos menores a 100 °C y que en diferentes países se destinan a usos directos de la geotermia, es decir, al aprovechamiento del calor, sin una transformación adicional.

La geotermia es una fuente de energía con grandes ventajas económicas y ambientales. Existen importantes reservas de energía geotérmica de baja entalpía en nuestro país, que pueden representar una opción de desarrollo local y regional.

El interés de este trabajo nace a partir del grupo iiDEA del Instituto de Ingeniería de la UNAM, cuyos objetivos son investigar, innovar y desarrollar proyectos de geotermia de baja entalpía en México. Una de las barreras para el impulso de estos proyectos es que no existe en el país, un régimen jurídico lo suficientemente sólido para el desarrollo de este tipo de proyectos.

En la reforma energética aprobada recientemente por el Congreso de la Unión, se incluye una Ley secundaria sobre geotermia y algunas modificaciones a la Ley de Aguas Nacionales en esta materia. Sin embargo, esta regulación está orientada al desarrollo de proyectos de alta entalpía y no tiene especificidades para el desarrollo de proyectos de baja entalpía.

En esta tesis se explica la importancia del desarrollo de geotermia de baja entalpía en México; la necesidad de un marco regulatorio específico, la revisión de normas similares en otros lugares del mundo y finalmente una propuesta para regular este tipo de proyectos en nuestro país.

Como parte del desarrollo de la tesis y una vez que fueron publicadas las Reformas a la Constitución y las nuevas leyes, en particular las referidas a la energía geotérmica, nos dimos a la tarea de preguntar a la Secretaría de Energía, las modalidades bajo las cuales pueden desarrollarse los proyectos geotérmicos de media y baja entalpía. La respuesta fue en los hechos, una homologación de los permisos de alta entalpía para los de media y baja entalpía. Esto permite tener un marco para el desarrollo de estos proyectos.

Aun cuando esto abre las posibilidades de la promoción de energía geotérmica de baja y media entalpía, sería deseable, que estos quedaran establecidos en la Ley o en su caso en los reglamentos en la materia.

La tesis consta de 5 capítulos y una breve conclusión. El capítulo 1 presenta un resumen de la energía geotérmica, sus características y su clasificación de acuerdo con la temperatura de la fuente. El capítulo 2 detalla el desarrollo de la energía geotérmica en México y en el mundo, sus aspectos ambientales y socioeconómicos. En el siguiente capítulo se presenta un resumen del desarrollo de los proyectos de baja y media entalpía en México, en particular los desarrollados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM. En el capítulo 4 se discute la regulación energética en México, en particular los cambios debidos a la Reforma Energética de 2013 en el marco de la energía geotérmica. El capítulo 5 presenta la aplicación de la regulación actual para el caso de la energía geotérmica de media y baja entalpía.

Nuestro país actualmente cuenta con muchos retos en torno a la geotermia. Se requiere un marco regulatorio que promueva una operación clara y justa del mercado eléctrico y que establezca las diferencias entre el fluido geotérmico (agua geotérmica) y el agua de acuíferos someros. Ello ayudara también al desarrollo de proyectos de baja y mediana entalpía, así como la creación de algunos incentivos.

La energía geotérmica

La geotermia

Geotermia es una palabra de origen griego, deriva de “geos” que quiere decir tierra, y de “thermos” que significa calor: *el calor de la tierra*. Se emplea indistintamente para designar tanto a la ciencia que estudia los fenómenos térmicos internos del planeta como al conjunto de procesos industriales que intentan explotar ese calor para producir energía eléctrica y/o calor útil al ser humano. (Llopis & Angulo, 2008). De esta forma se puede decir que la energía geotérmica es la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la tierra. El planeta tierra no es un cuerpo inerte y frío perdido en el espacio y arrastrado pasivamente por la fuerza gravitacional del sol. Desde el punto de vista energético constituye un sistema activo que recibe y comunica energía al medio que lo rodea, y el calor es una parte de esa energía. En la Figura 1.1 se puede apreciar la estructura de la tierra.

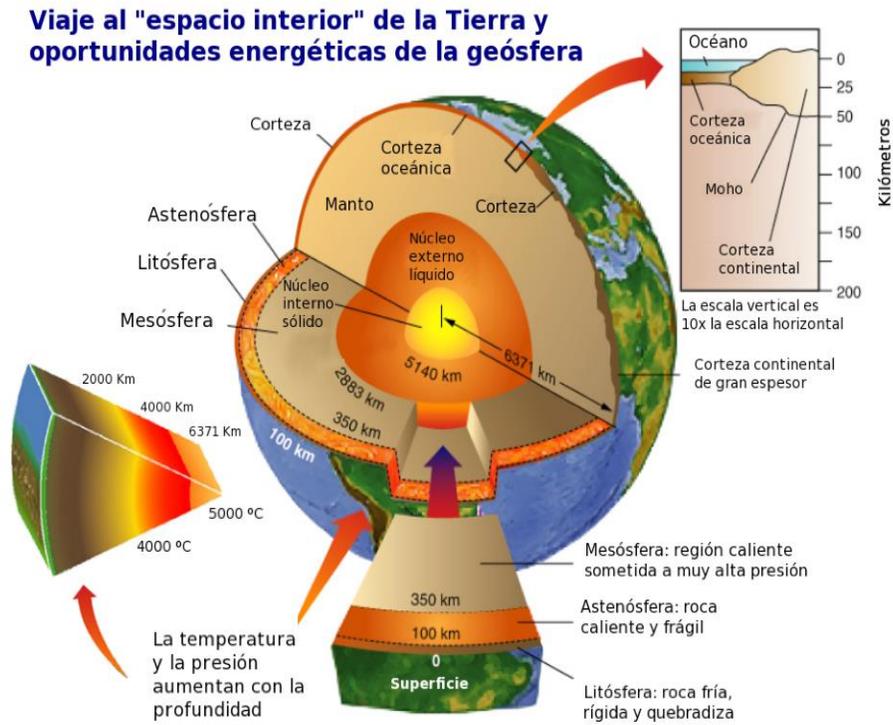


Figura 0.1 Estructura interna de la Tierra

Fuente (Santoyo Gutierrez & Torres Alvarado, 2010)

La mayor parte de este calor se genera a partir de material fundido llamado magma. La mayoría del magma producido en la Tierra no llega a la superficie, sino que tiende a acumularse a profundidades entre 5 y 10 km, en donde suele calentar grandes regiones de

roca o reservorios de fluidos confinados, los cuales dan origen a la formación de los sistemas geotérmicos (Dickson & Fanelli, 1995).

El contenido total de calor de la Tierra se estima que es del orden de 12.6×10^{12} EJ, mientras que en la corteza terrestre se ha estimado en aproximadamente 5.4×10^9 EJ. El calor interno de la Tierra es generado continuamente por el decaimiento natural de sus isótopos radiactivos con una tasa energética de 860 EJ/año, lo cual representa 2 veces la energía primaria consumida en el 2004. La conductividad térmica de la roca de los sistemas geotérmicos es muy baja, de tal forma que se requiere mucho tiempo para agotar este recurso geoenergético (probablemente del orden de billones de años). Con base en estas características, la geotermia es considerada como una fuente inmensa de energía y casi inagotable si se explota sustentablemente (Santoyo Gutierrez & Torres Alvarado, 2010).

La energía geotérmica es una de las energías más prometedoras y suscita un interés creciente en el conjunto de las estrategias que promueven la explotación de fuentes de energías renovables. A diferencia de otras fuentes de energía renovables, la geotermia no tiene su origen en la radiación solar sino en la diferencia de altas temperaturas que existen en el interior de la Tierra y que van desde los 15°C de la superficie a los 4000°C que rigen el núcleo.

Las fumarolas, geiseros y fuentes termales son fenómenos observables en superficie que denotan un calor que proviene del subsuelo como se puede observar en la figura 2.

Todas ellas son manifestaciones del calor que el interior de la tierra transmite hacia su exterior y que constantemente se “desperdicia” en la corteza terrestre. En



Figura 0.2 Clepsydra Geyser, Lower Geyser Basin, Yellowstone National Park, Wyoming

Fuente (Wikipedia, 2010)

suma, son indicaciones de la estructura interna de la Tierra formada por capas sucesivas tanto más profundo mayor será la temperatura.

Clasificación de la energía geotérmica

Los recursos geotérmicos, el agua caliente y/o roca caliente, de los cuales es posible extraer energía, se forman por la acumulación del calor en zonas llamadas sistemas geotérmicos a pocos kilómetros de profundidad en la corteza. Se pueden clasificar de varias formas, dependiendo de su tipo o temperatura. (Aviña, Historia de la geotermia, 2012)

Una clasificación muy común de la energía geotérmica se puede apreciar en la Tabla 1.1

	Geotermia de baja entalpia	Geotermia de media entalpia	Geotermia de alta entalpia
Temperatura	T<100°C	100 °C<T>150°C	T>150°C
Características	Su aplicación son los usos directos del calor(calefacción, procesos industriales, balneología)	Usos industriales y producción de electricidad mediante ciclos binarios, que en general tienen rendimientos bajos.	Las características termodinámicas del fluido permiten su aprovechamiento para producción de electricidad.

Tabla 0.1 Clasificación de la energía geotérmica

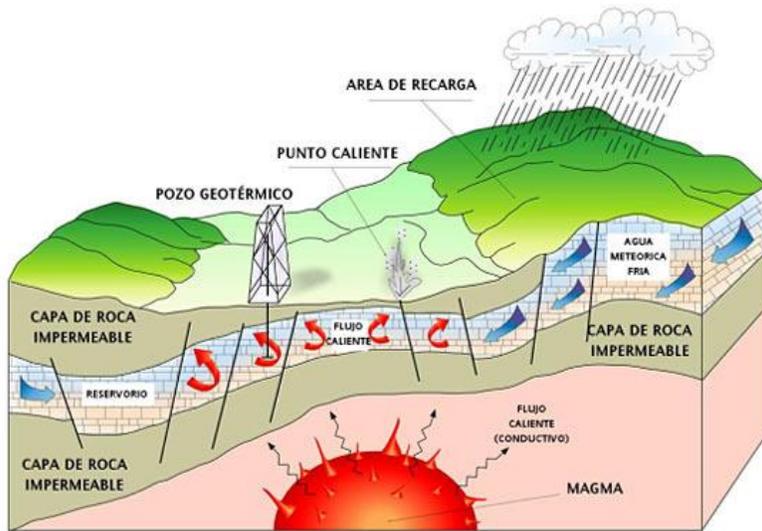
Fuente (Ordaz, Flores, & Ramírez, 2011)

En sitios geotérmicos privilegiados, el gradiente geotérmico suele llegar a ser varias veces mayor que el gradiente normal (cuyo promedio es de 30 °C/km, ó 1°C cada 30 metros de profundidad). Por ello, en estas zonas es posible encontrar fluidos con temperaturas entre 200 °C y 350 °C, a profundidades promedio de aproximadamente 3 km. No obstante, existen actualmente algunos sitios, como en el campo geotérmico de Kakkonda en Japón en donde se han registrado temperaturas hasta de 500 °C. Los sistemas geotérmicos que presentan fluidos con temperaturas superiores a los 200 °C normalmente justifican la perforación de pozos, los cuales son más apropiados para la generación geotermoeléctrica (Santoyo Gutierrez & Torres Alvarado, 2010).

Se han identificado nueve tipos de sistemas geotérmicos:

Sistemas hidrotermales

Son conocidos como reservorios geotérmicos o yacimientos geotérmicos y son sistemas de agua muy caliente y/o vapor. Si las condiciones geológicas de la zona lo permiten se forma una intrusión de magma en la corteza terrestre que calienta las rocas aledañas; cuando el agua subterránea pasa por estas rocas calientes se forma un acuífero de agua caliente o vapor a alta presión. Este reservorio se puede aprovechar perforando



hasta llegar a él, se atraviesa la capa sello de rocas impermeables hasta llegar a las rocas permeables que forman el yacimiento, el agua entonces dependiendo de la temperatura y profundidad, saldrá a la superficie en forma de vapor, mezcla o agua caliente (Figura 3).

Figura 0.3 Sistemas hidrotermales

Fuente (Dickson & Fanelli, 1995)

Sistemas de roca seca caliente

Este recurso se encuentra por lo general a grandes profundidades. En estos casos, lo único que hay son rocas que conservan un alto grado energético en forma de calor, siendo utilizadas como cambiadores de calor (Figura 1.4). Para utilizar el calor de forma más eficiente se utiliza la técnica de hidrofracturación que produce un reservorio rocoso fracturado al que se le inyecta agua fría a alta presión que se pone en contacto con las rocas cuya temperatura aproximada es de 200°C, bajo el efecto de la presión. Una vez inyectada el agua, ésta gana calor rápidamente y después puede ser utilizada en procesos industriales o para la generación de energía eléctrica.

A estos sistemas también se les conoce como sistemas geotérmicos estimulados porque pueden ser creados o mejorados por el ser humano (Llopis & Angulo, 2008).

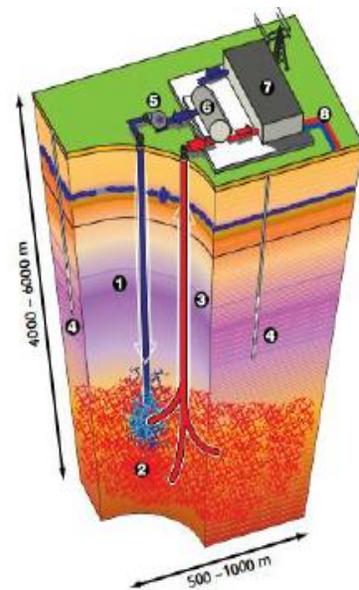


Figura 0.4 Sistemas de roca seca caliente
Fuente (Llopis & Angulo, 2008)

Sistemas geopresurizados

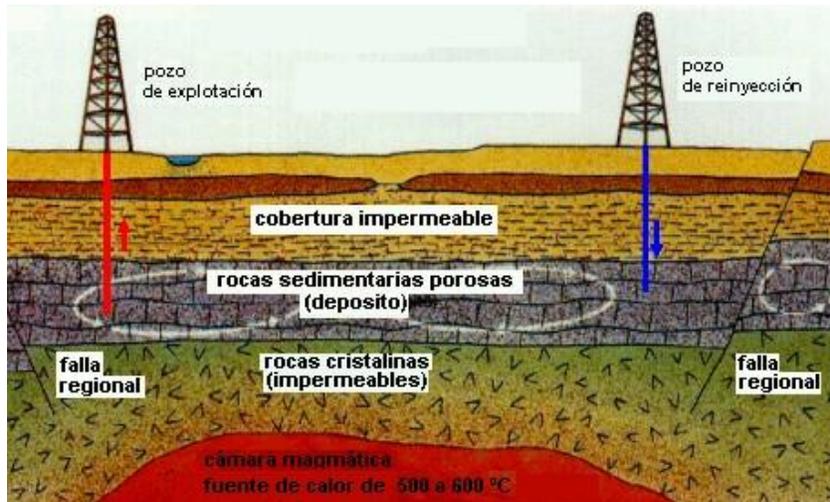


Figura 0.5 Sistemas geopresurizados

Fuente (fuentesdeenergiatecno, 2014)

Son otro caso particular de yacimientos a alta temperatura. El agua contenida en el acuífero está sometida a grandes presiones, entre un 40 y un 90% superiores a la presión hidrostática que correspondería a la profundidad a la que se encuentra.

Han sido descubiertos como consecuencia de exploraciones

petrolíferas (Figura 1.5) en cuencas sedimentarias con gradiente geotérmico normal pero en las que el agua se encuentra a una profundidad de 6000 m o mayor, a temperaturas superiores a 150°C. Ninguno se encuentra en explotación. (Llopis & Angulo, 2008)

Sistemas geotérmicos conductivos sedimentarios

Estos sistemas pueden producir recursos de baja y mediana temperatura (20 a 150°C) debido a su flujo de calor y a la baja conductividad térmica de las rocas con gradientes geotérmicos superiores a los normales $>30^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Algunos intentos están siendo evaluados para desarrollar proyectos geotérmicos en cuencas sedimentarias con flujos de calor atractivos. Estos sistemas se han detectado en regiones típicas de la formación Madison en el Norte y Sur de Dakota, Montana and Wyoming en los E.U.A., así como en la cuenca Pannonian de Europa central (Hungría, en donde se usan como recursos de baja entalpía), (Santoyo Gutierrez & Torres Alvarado, 2010).

Sistemas geotérmicos radiogénicos

Sistemas asociados a intrusiones graníticas que con el calor generado por el decaimiento radioactivo de los isótopos de torio, potasio y uranio calientan el agua subterránea local. Este calentamiento incrementa los gradientes geotérmicos arriba del promedio global y provee un fluido factible de aprovecharse con la perforación de pozos profundos. Este tipo de recursos geotérmicos se tienen disponibles en el Este de los E.U.A., aunque no han sido todavía explotados comercialmente (Santoyo Gutierrez & Torres Alvarado, 2010).

Sistemas marinos

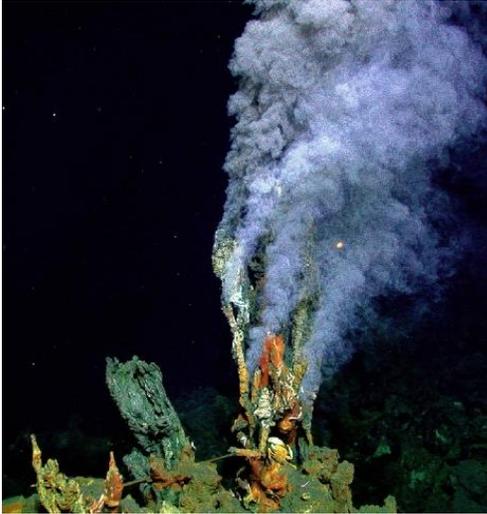


Figura 0.6 Sistemas marinos

Fuente (Castillo, 2014)

Los sistemas marinos son ventilas hidrotermales que ocurren a grandes profundidades bajo el nivel del mar, de más de 1500 metros y en donde la presión puede llegar a ser de más de 300 atmosferas (Figura 1.6). El tamaño de las ventilas puede ir de unos cuantos centímetros a más de tres metros. El agua que sale de las ventilas está cargada con minerales y el color de los chorros de agua que salen dependen del tipo y concentración de minerales disueltos en el agua (Llopis & Angulo, 2008).

Sistemas magmáticos

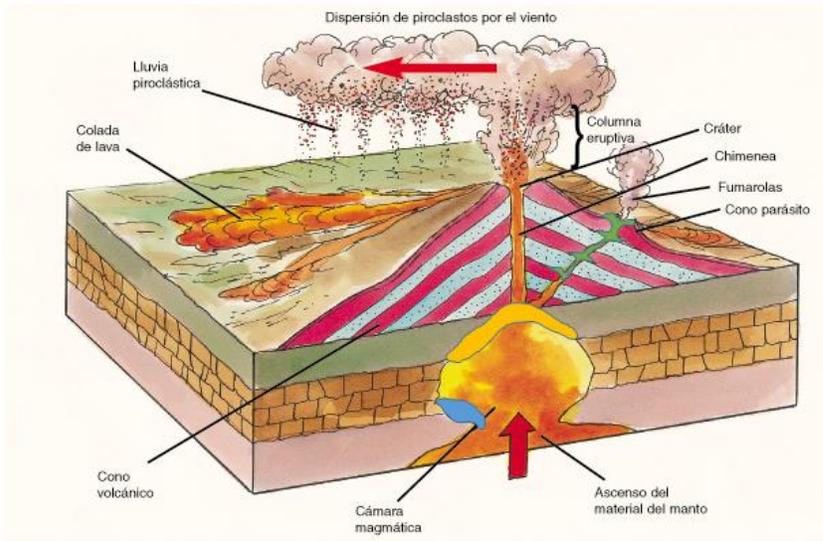


Figura 0.7 Sistema magmatico

Fuente (cienciageografica, 2011)

Son sistemas de roca fundida existentes en las cámaras magmáticas de los volcanes (Figura 1.8). El atractivo más importante son las altas temperaturas disponibles ($T > 800^{\circ}\text{C}$). Pero la limitante es que no se cuenta hasta la fecha, con tecnología ni los materiales para poder hacer uso de este sistema. A largo plazo, cuando se disponga la

tecnología y los materiales adecuados para resistir la corrosión y las altas temperaturas, se podría explotar la enorme cantidad de energía almacenada en las cámaras magmáticas de los volcanes activos. (Aviña, Historia de la geotermia, 2012)

Sistemas geotérmicos de agua caliente asociado con yacimientos de petróleo y gas

Existen hoy en día, otro tipo de recursos geotérmicos disponibles para su posible explotación a partir del calor contenido en el agua producida en pozos profundos de petróleo o gas. Esta agua caliente puede ser coproducida ya sea con petróleo o extraída a partir de los pozos petroleros que han sido abandonados por no tener una producción rentable, o simplemente por agotamiento del yacimiento. Su explotación no se ha hecho aún atractiva debido a que no se tiene evaluado completamente el recurso térmico disponible, en términos de las temperaturas y la producción de agua en estos sistemas (Santoyo Gutierrez & Torres Alvarado, 2010).

Sistemas geotérmicos supercríticos.

Son sistemas muy profundos caracterizados por disponer fluidos geotérmicos en estado supercrítico y con temperaturas de hasta 600 °C. Hoy en día se han detectado en Islandia, en donde se lleva a cabo un proyecto de perforaciones profundas conocido por su acrónimo IDDP (“Iceland Deep Drilling Project”). El fluido supercrítico puede proveer hasta 10 veces más energía que la de un fluido almacenado en un sistema geotérmico convencional (Santoyo Gutierrez & Torres Alvarado, 2010).

Usos de los recursos geotermicos

La energía geotérmica contenida en la corteza terrestre que se puede utilizar para la generación de electricidad y proporcionar calor directo para numerosas aplicaciones, tales como: la calefacción urbana, calentamiento de agua, acuicultura, la horticultura, y procesos industriales. Además, el uso de energía extraída de las temperaturas constantes de la tierra a poca profundidad por medio de bombas de calor geotérmicas (IEA, 2010).

La energía geotérmica de media y alta entalpia en el país se utiliza casi exclusivamente para producir electricidad, ya que sus usos directos se encuentran en desarrollo y en la actualidad siguen estando restringidos para bañarse y nadar instalaciones con fines recreativos y algunos con usos terapéuticos (reportados en 20 localidades). Casi todos los complejos se han desarrollado y están operados por inversionistas privados, sin embargo, hay instalaciones aisladas operados por el gobierno federal, estatal o municipal. Estas instalaciones públicas generalmente se operan a través de las oficinas de turismo, o en algunos casos, a través de instituciones federales como el Instituto Nacional de Seguridad Social (IMSS), (International Geothermal Association, 2013).

Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha desarrollado algunos de los usos directos de los recursos geotérmicos en el campo geotérmico de Los Azufres, incluyendo un secador de madera, un deshidratador de frutas y hortalizas, un invernadero y un sistema para la calefacción de sus oficinas e instalaciones en este campo.

El uso de bombas de calor geotérmicas es mínima, y subdesarrollado con información no disponible. La calefacción individual se usa poco en México debido a las temperaturas suaves durante todo el año en la mayor parte del país.

En la Figura 1.8 se muestra las diversas aplicaciones que se le pueden dar a los recursos geotérmicos.



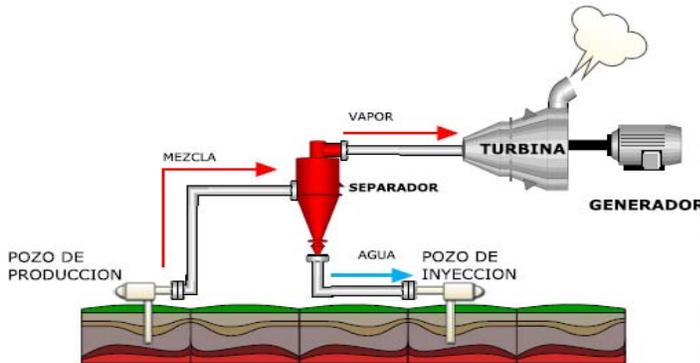
Figura 0.8 usos de la energía geotérmica

Fuente (Llopis & Angulo, 2008)

Usos de la alta entalpia

Como se mencionó anteriormente los recursos de alta entalpia se utilizan para generar electricidad estas plantas geotermoeléctricas funcionan igual que una termoeléctrica, pero tienen muchas más ventajas que las termoeléctricas, son más económicas, emiten menor cantidad de gases de efecto invernadero, y el factor de planta es más alto entre las que encontramos (Dickson & Fanelli, 1995):

- *Descarga atmosférica de la turbina de vapor convencional (Contrapresión)*



Con este tipo de planta el vapor es separado desde la salida del pozo geotérmico y a través de esto alimenta a una turbina convencional de flujo axial de vapor, que descarga directamente a la atmósfera (Dickson & Fanelli, 1995). Un esquema simplificado de esta planta se muestra en la figura 1.9

Figura 0.9 Ciclo a contrapresión

Fuene (Aviña, Historia de la geotermia, 2012)

- *Condensación de la descarga de la Turbina convencional de vapor*

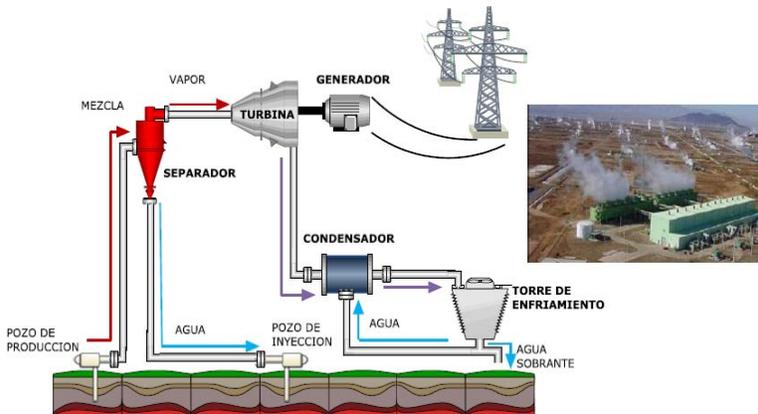


Figura 0.10 Ciclo a contrapresión

Fuente (Aviña, Tipos de centrales geotermoeléctricas, 2012)

Este tipo de planta es una mejora termodinámica, en el diseño de la descarga atmosférica. En lugar de la descarga del vapor de la turbina a la atmósfera esta se descarga a una cámara de condensación que se mantiene a una presión absoluta muy baja típicamente alrededor de 0.12 bar.

Porque la caída de mayor presión a través de una turbina de condensación de aproximadamente genera dos veces más de energía a partir de un flujo de vapor dada, en condiciones típicas de entrada, en comparación con una turbina de escape atmosférico. La razón por la que debe ser condensado el vapor de escape es que una cantidad poco

práctica de trabajo sería necesario para bombear el líquido de las condiciones de baja presión en el condensador, a menos que se convierta primero en estado líquido (Dickson & Fanelli, 1995). Un esquema simplificado de esta planta se ve en la figura 1.10, casi siempre la adición de un condensador, la torre de enfriamiento y el equipo de bombeo incrementan el costo total de la planta.

● *Plantas binarias de potencia*

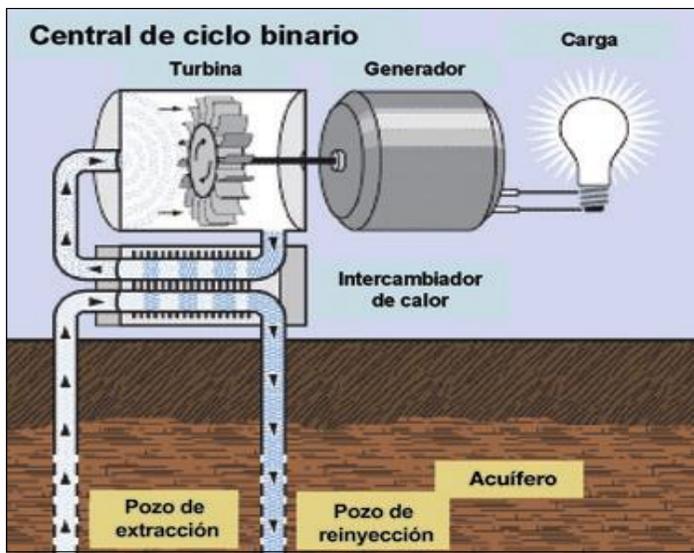


Figura 0.11 Central de ciclo binario

Fuente (Chamorro, 2009)

Las plantas de ciclo binario permiten el aprovechamiento de yacimientos a temperaturas menores. El fluido geotérmico en este tipo de plantas no atraviesa la turbina, sino que cede su energía térmica a un fluido orgánico de bajo punto de ebullición en un intercambiador de calor. El fluido orgánico, que se vaporiza en este intercambiador de calor, realiza un proceso cíclico (ciclo de Rankine) en el que se produce energía eléctrica al atravesar el fluido una turbina acoplada a un generador, como se observa en la Figura 1.11.

El ciclo binario más extendido en la actualidad es el ciclo Rankine con fluidos orgánicos (*Organic Rankine Cycle - ORC*). En este ciclo un fluido orgánico se evapora a una temperatura relativamente baja gracias a la energía que toma del fluido geotérmico en un intercambiador de calor. Posteriormente el vapor producido se expande en una turbina conectada al generador eléctrico. A la salida de la turbina el vapor condensa en otro intercambiador de calor refrigerado por aire o por agua. El fluido condensado vuelve a ser llevado al evaporador mediante una bomba, cerrándose el ciclo (Chamorro, 2009).

Usos de la baja y media entalpia

La geotermia de baja entalpia es el recurso con temperatura menor a 100°C, el cual se puede encontrar en los estratos superiores de la Tierra (hasta 400 metros), esta energía se basa en el calor irradiado por el sol y el flujo de calor desde el interior de la Tierra a la superficie (Vielma, 2013).

Por otro lado, ya que las aplicaciones de baja entalpía involucran recursos disponibles a pocas profundidades, las inversiones requeridas y el riesgo inicial es menor que en aplicaciones de alta entalpía. Lo que representa una gran oportunidad al

presentarse la posibilidad de contar con sistemas de generación distribuida que permitan el desarrollo regional y la generación de empleos a nivel local así como el fortalecimiento de nuevas cadenas productivas.

Los recursos geotérmicos de baja temperatura permiten el aprovechamiento directo del calor. Dado que el transporte del calor requiere infraestructuras de elevado costo y con pérdidas energéticas importantes, se requiere que la demanda se sitúe próxima al centro geotérmico, donde se ubican las cabezas de los sondeos y se localiza el intercambiador. De esta forma, el circuito geotérmico que actúa como la caldera del sistema de calefacción que se va a utilizar, está compuesto únicamente por los dos sondeos que conforma el doblete geotérmico (el sondeo de extracción y el de inyección) y el intercambiador. El resto es el sistema de superficie que prácticamente es un sistema convencional de distribución de calefacción (García de la Noceda, 2008).

Además de los usos en calefacción de viviendas y locales, existen multitud de aplicaciones de tipo industrial en las que se necesita aporte de calor. La mayor parte están relacionadas con las industrias del sector agrícola y alimentario.

USO	CAPACIDAD INSTALADA	
Calefacción individual	0.460 MWt	4.397 TJ/año
Calentamiento de efecto invernadero	0.004 MWt	0.059 TJ / año
Secado agrícola	0.007 MWt	0.101 TJ / año
Bañarse y nadar	155.347 MWt	4,018.229 TJ / año
TOTAL	155.818 MWt	4,022.786 TJ / año

Tabla 0.2 Usos de la geotermia en México

Fuente (International Geothermal Association, 2013)

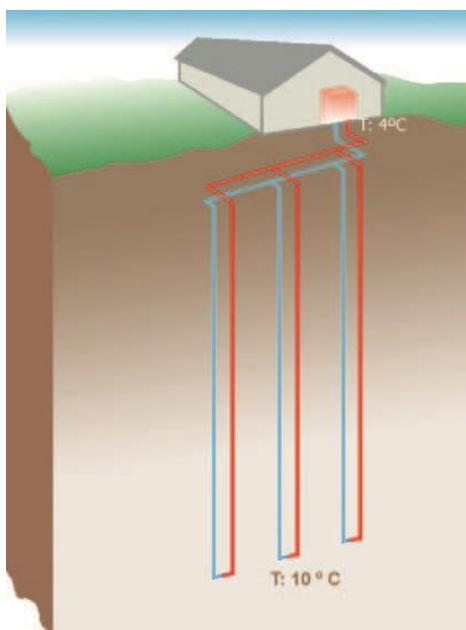


Figura 0.12 Bomba de calor

Fuente (García de la Noceda, 2008)

Los recursos geotérmicos de baja temperatura se investigan con objeto de su aprovechamiento en usos directos. Por lo tanto y en función de sus características, requieren una importante demanda "in situ", se localizan en grandes cuencas sedimentarias y su nivel de temperatura lo alcanzan debido al gradiente geotérmico. Lo que se precisa es un acuífero profundo con buenas características de porosidad y permeabilidad que permita una importante productividad (Santoyo Gutierrez & Torres Alvarado, 2010).

Las bombas de calor geotérmicas (Figura 1.12) son ahora la aplicación de más rápido crecimiento del uso de energía geotérmica directa, con cerca de 3 millones de bombas de calor instaladas en 2010 (IEA, 2010).

Desarrollo de la energía geotérmica en el mundo y en México

Historia de la energía geotérmica

La utilización de la energía geotérmica data desde la antigüedad. Los griegos y romanos dejaron numerosos ejemplos de su uso, para balnearios y calefacción urbana, algunos ejemplos son, las instalaciones de Aeculapium y la antigua Pérgamo, donde el hospital utilizaba el agua caliente procedente de aguas termales de la ciudad.

Los baños turcos fueron introducidos por los Otomanos aprovechando las numerosas manifestaciones geotérmicas superficiales, de casi 100°C, de la región de

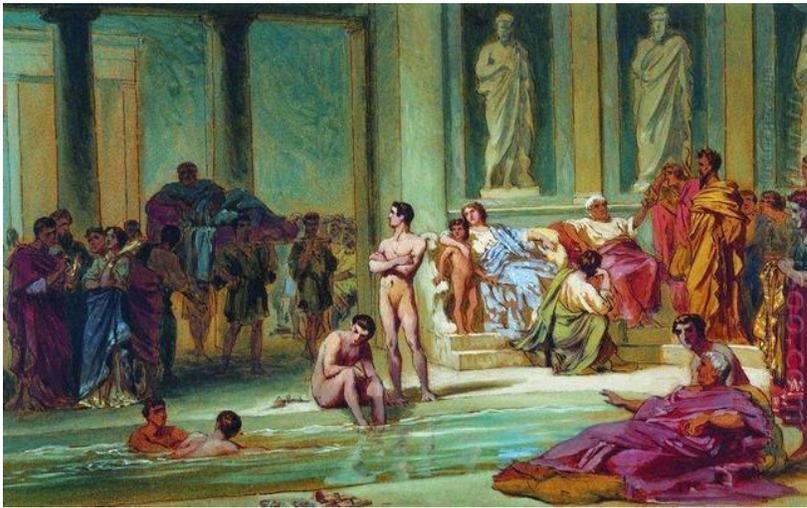


Figura 0.1 Antiguos baños termales

Fuente (Neira, 2014)

Anatolia (actualmente Turquía), también, los Paleo- Indios de América del Norte, ya usaban las aguas termales para cocinar alimentos y sus minerales con propósitos medicinales.

Las primeras civilizaciones, apreciaban la práctica de los baños termales y la utilización de barros termo minerales, pero fueron los griegos y, posteriormente, los

romanos los que dejaron numerosos ejemplos de la aplicación de la energía geotérmica en la calefacción urbana y en los baños termales como se aprecia en la pintura de la Figura 2.1. En 1330 ya existía una red de distribución de agua caliente en casas de Francia. Por la misma época en Toscana pequeñas lagunas con agua caliente salobre de las que se escapaba vapor a más de 100°C, eran explotadas para extraer ácido sulfúrico concentrado y alumbre. El descubrimiento en 1818 de sales de boro en Larderello, marcó el inicio de la utilización industrial de los recursos geotérmicos. En 1827 el fundador de esta industria, el francés Francois Larderel, desarrolló un sistema para utilizar el calor de los fluidos en el proceso de evaporación, en lugar de quemar madera de los bosques cercanos, que se encontraban en rápida deforestación. En Francia en 1833, en el barrio de Grenelle, en Paris, se inició el primer sondeo profundo, un pozo artesiano de 548m de profundidad que tardó ocho años en construirse y captó agua potable a 30°C en el acuífero de arenas albenses de la Cuenca de Paris. En E.U. la primera red local de calefacción urbana entró en funcionamiento en 1892 en Boise, Idaho (Martínez, 2013).

La primera red de mayor magnitud de calefacción urbana alimentada por energía geotérmica se instaló en Reikjavik, Islandia, en 1930. Desde entonces, redes de calefacción que utilizan la energía geotérmica se encuentran en funcionamiento en Francia, Italia, Hungría, Rumanía, Rusia, Turquía, Georgia, China, Estados Unidos y la propia Islandia, donde, hoy en día 95% de los habitantes de la isla tienen calefacción por medio de una red de 700km de tuberías aisladas que transportan agua caliente. Después de la Segunda Guerra Mundial, muchos países fueron atraídos por la energía geotérmica al considerarla competitiva respecto de otras fuentes de energía.



Figura 0.2 Primera central geotérmica

Fuente (Chamorro, 2009)

Por otro lado, la industria del ácido bórico en Larderello dio paso, en 1904 a la generación de electricidad a partir de vapor geotérmico, entrando en funcionamiento en 1913 una central de 250kW Figura 2.2. Entre 1910 y 1940, el vapor de baja presión fue utilizado para calefacción de

invernaderos y edificios industriales y residenciales. A finales de la Segunda Guerra Mundial, las tropas alemanas, durante su retirada, destruyeron por completo la central, los pozos y las tuberías. En 1919 se perforaron los primeros pozos en Beppu, Japón, y en 1924 se instaló una planta experimental para producir energía eléctrica. En 1921, en Estados Unidos, en la zona de The Geysers, en California, se perforaron dos pozos y se instaló una pequeña máquina de vapor que, conectaba un dinamo, producía electricidad para un pequeño establecimiento termal (Aviña, Historia de la geotermia, 2012).

Situación actual de la geotermia de alta entalpia

Desarrollo de la energía geotérmica de alta entalpia en el mundo

Para 2010, la capacidad instalada a nivel mundial alcanzó los 10,715 MWe en 39 países (Figs. 2.3 y 2.4) y para el 2015, los 18,500 MWe, con un factor de capacidad de aproximadamente 77-85% . Pronósticos optimistas indican que la capacidad geotermoeléctrica podría alcanzar los 140 GWe en el 2050 (1,104 TWh/a con un factor de capacidad del 90%), implicando un crecimiento de aproximadamente 14.5 veces la capacidad actual (IEA, 2010).

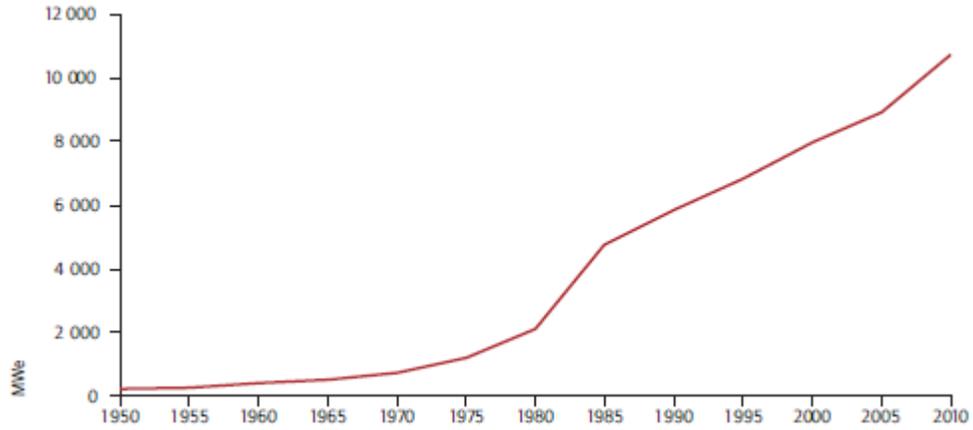
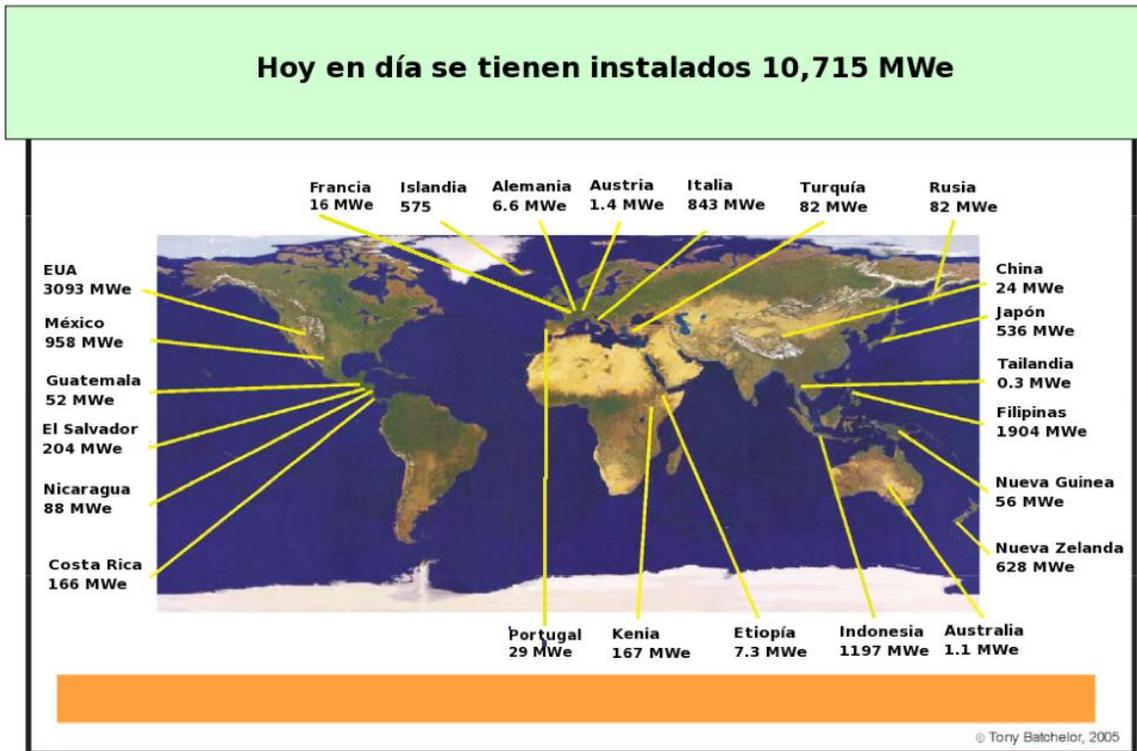


Figura 0.3 Capacidad mundial instalada de energía geotérmica

Fuente (IEA, 2011)



A.S. Batchelor, 2005; Bertani, 2008; and GEA, 2009

Figura 0.4 Capacidad instalada para la generación de energía eléctrica mediante recursos geotérmicos

Fuente (Bertani, 2010)

En la actualidad la electricidad generada a partir de energía geotérmica proporciona una significativa participación en la generación de electricidad de diversos países por ejemplo en Islandia (25%), El Salvador (22%), Kenia y Filipinas (17% cada uno) y Costa Rica (13%). Los Estados Unidos producen la mayor cantidad de electricidad a partir de energía geotérmica, la cual en 2009 alcanzó los 16,603 GWh/año de una capacidad instalada de 3,093 MWe. La capacidad total instalada (excluyendo bombas de calor) es de 15 347 MWt

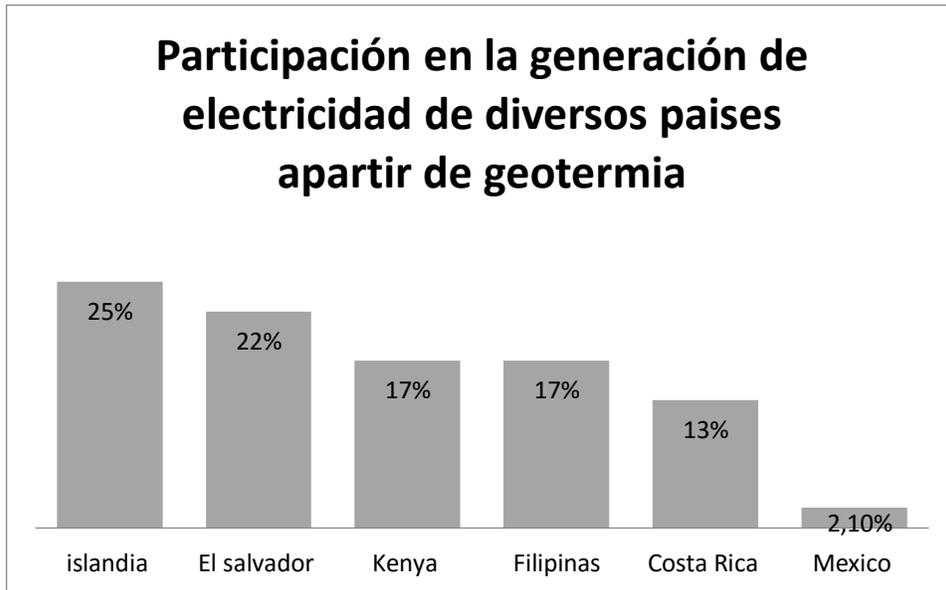


Figura 0.5 Generación de electricidad en diversos países

Fuente (IEA, 2011)

en 2009, con una producción anual de calor de 223PJ; China muestra el mayor uso de calor geotérmico (con exclusión de las bombas de calor), con un total de 46.3 PJ/año en la explotación de calor geotérmico (IEA, 2011).

En la Tabla 2.1 y Figura 2.6 se presenta la evolución, desde el año 1950, de la potencia mundial instalada de origen geotérmico para producción de electricidad y el incremento evolutivo a lo largo de estos años. Se puede observar que, durante el periodo 2005-2010, la potencia ha aumentado alrededor de 1780 MW, siguiendo un incremento lineal de aproximadamente entre 200y 250 MWe por año.

Año	Capacidad instalada (MW)	Energía producida (GWh)
1950	200	-
1955	270	-
1960	386	-
1965	520	-
1970	720	-
1975	1180	-
1980	2110	-
1985	4764	-
1990	5834	-
1995	6833	38035

2000	7972	49261
2005	8933	55709
2010	10715	67246
2015	18500	-

Tabla 0.1 Capacidad total instalada del año 1950 a 2010

Fuente (Bertani, 2010)

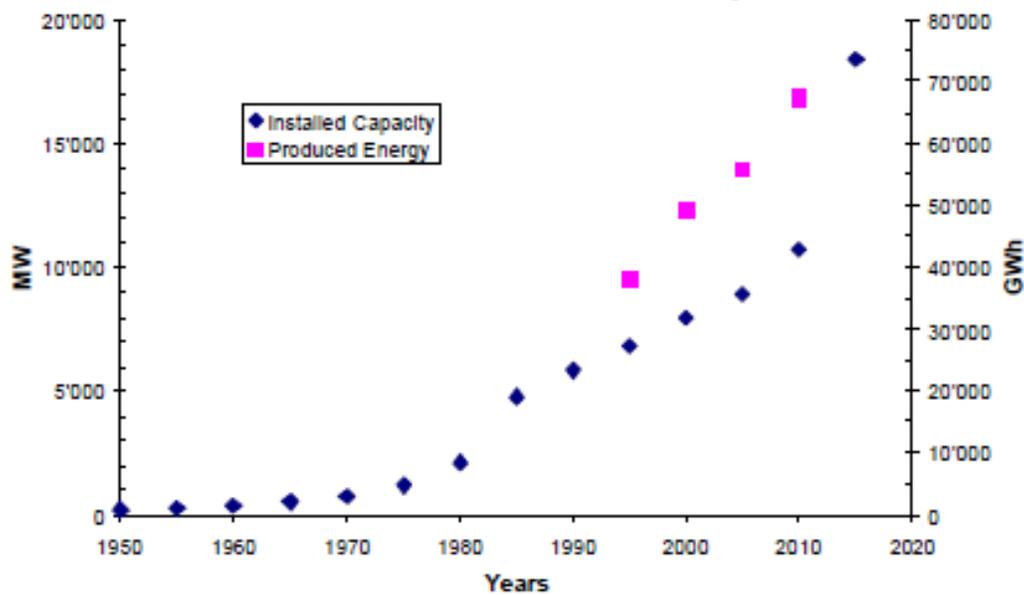


Figura 0.6 Capacidad instalada de 1950 a 2015 y electricidad producida

Fuente (Bertani, 2010)

Como podemos observar en la Figura 2.7 la capacidad instalada global es superior a los 12 GW y existen alrededor de 700 proyectos en desarrollo, ya sea en etapa de prospección, construcción o próximos en entrar en operación (Instituto para la diversificación y ahorro de energía, 2008).

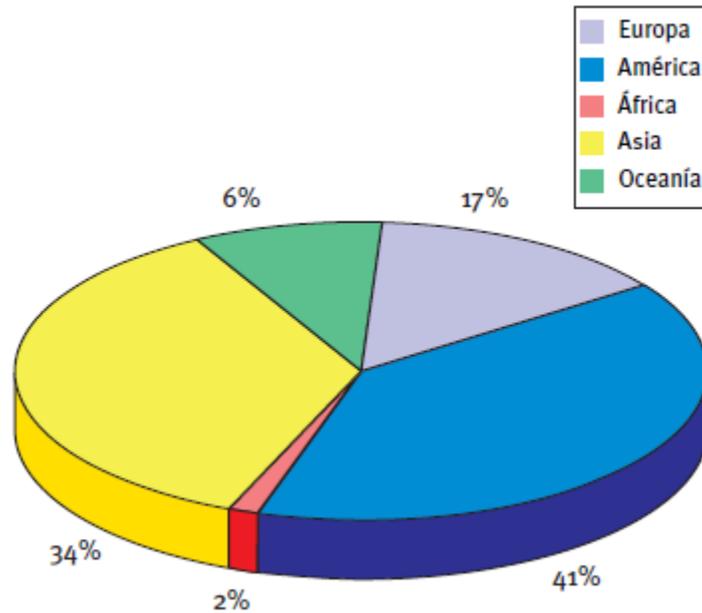


Figura 0.7 Distribución mundial de potencia instalada

Fuente (Instituto para la diversificación y ahorro de energía, 2008)

Nuevos desarrollos y su importancia

El futuro de la producción de energía eléctrica geotérmica presenta dos horizontes claramente definidos. A corto plazo pasa por el aprovechamiento de yacimientos hidrogeotérmicos a temperaturas medias mediante ciclos binarios perfeccionados. Los sistemas de ciclo binario pueden ser utilizados en los yacimientos hidrotérmicos de media entalpia (100°C a 200°C), donde predomina el agua en estado líquido. Este tipo de plantas emplean un segundo fluido de trabajo, con un punto de ebullición inferior al del agua, tales como isopentano, freón, isobutano, etc., los cuales se evaporizan y se usan para accionar la turbina (por ello el nombre de ciclos binarios). A mediano y largo plazo se basará en el aprovechamiento de los yacimientos de roca seca caliente, lo que multiplicará los recursos disponibles.

Los avances en el diseño de plantas de tipo binario han dado lugar a la producción de energía a partir de fluidos con temperaturas tan bajas como 73 ° C. Permiten la generación de energía utilizando agua separado de plantas de vapor, el uso de cogeneración de fluidos sedimentarios profundos y pueden potencialmente permitir la generación de energía con sistemas geotérmicos en casi cualquier lugar en la tierra. Asimismo, mejores herramientas para el registro de alta temperatura y presión mediante modernos equipos de perforación y control han hecho posible perforar con mayor precisión y con éxito, a veces más profundo y más rápido, reduciendo así los costos de inversión. Se espera que las mejoras tecnológicas en las bombas de calor puedan mejorar el rendimiento y reducir el costo de las tecnologías de la calefacción de espacio (IEA, 2011).

Nuevos ciclos binarios

El ciclo binario más extendido en la actualidad es el ciclo Rankine con fluidos orgánicos (*Organic Rankine Cycle* - ORC). En este ciclo un fluido orgánico se evapora a una temperatura relativamente baja gracias a la energía que toma del fluido geotérmico en un intercambiador de calor. Posteriormente el vapor producido se expande en una turbina conectada al generador eléctrico. A la salida de la turbina el vapor condensa en otro intercambiador de calor refrigerado por aire o por agua. El fluido condensado vuelve a ser llevado al evaporador mediante una bomba, cerrándose el ciclo (Chamorro, 2009) (Chamorro, 2009).

Una modificación de este ciclo, que permite aprovechar mejor la energía térmica del fluido geotérmico, es el denominado ciclo Kalina. En este ciclo el fluido de trabajo es una mezcla (por ejemplo amoníaco + agua), que cambia de fase en el evaporador, no a temperatura constante, como ocurría en el ciclo Rankine, sino en un intervalo de temperaturas determinado. De esta forma la diferencia de temperaturas con el fluido geotérmico en el intercambiador de calor es menor que la que tenía lugar en el caso de un fluido puro (ORC). Esta característica hace que se pueda utilizar la energía térmica de

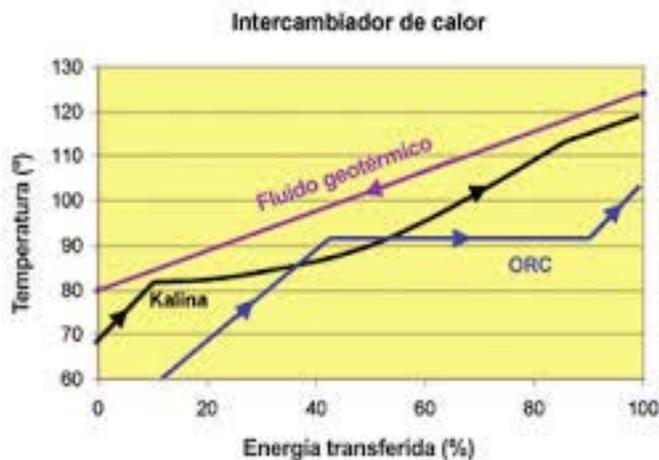


Figura 0.8 Comparación del perfil de temperatura del fluido de trabajo en un ciclo Rankine (ORC, en azul) y en un ciclo Kalina (en negro (Chamorro, 2009))

fluidos a baja temperatura (caso del fluido geotérmico) de una forma más efectiva, consiguiéndose finalmente incrementos en la producción de energía eléctrica entre un 20 % y un 40 % respecto a un ciclo ORC. En la Figura 2.8 pueden verse los perfiles de temperaturas en el intercambiador de calor del fluido geotérmico y el fluido de trabajo en un ciclo Rankine y en un ciclo Kalina. El resto del ciclo es similar, salvo que en el condensador la temperatura tampoco permanece constante (Chamorro, 2009).

Otro avance que se ha tenido es el ciclo termodinámico de generación eléctrica denominado CBEI (ciclo binario de evaporación instantánea), desarrollado por el grupo iiDEA del instituto de ingeniería de la UNAM el cual aprovecha la energía geotérmica de baja entalpía. Este surge de una variación del ciclo binario convencional, que cuenta con un sistema de generación de vapor con el cual es posible utilizar la energía geotérmica para la producción eléctrica que otros ciclos de generación no son capaces de aprovechar. Más adelante se profundizará en dicho ciclo.

Evolución de la capacidad instalada para generación eléctrica en México

La generación geotermoeléctrica producida en México alcanza los 958 MWe de capacidad instalada a través de la explotación comercial de cuatro campos geotérmicos de la CFE Figura : Cerro Prieto en Baja California (720 MWe); Los Azufres en Michoacán (188 MWe); Los Humeros en Puebla (40 MWe) y Las Tres Vírgenes en Baja California (10MWe) (Santoyo Gutierrez & Torres Alvarado, 2010). Figura 2.9



Figura 0.9 Localización de los campos geotérmicos en México

Fuente (Maya & Gutiérrez, 2007)

México es el cuarto país con mayor capacidad geotérmica instalada a nivel mundial (Figura 2.10), aunque a corto plazo presenta poco crecimiento en comparación a la nueva capacidad prevista en otros países.



Figura 0.10 Capacidad geotérmica instalada

Fuente (SENER, 2012)

Datos reportados por CFE indican que la capacidad geotermoeléctrica actualmente instalada ha requerido la perforación de 556 pozos y la producción de aproximadamente 65.9 millones de toneladas de vapor al año, de los cuales 66.4% corresponden a Cerro Prieto, 15.3% a Los Azufres, 7.7% a Los Humeros y 1.8% a Las Tres Vírgenes (Santoyo Gutierrez & Torres Alvarado, 2010). El costo de generación se considera competitivo a nivel mundial, oscilando entre 2 y 10 US\$/kWh y con costos de retorno de inversión que fluctúan entre 800 y 3000 US\$/ kW. Se espera que en el futuro estos costos puedan reducirse entre 1 y 8 US\$/kWh. Los costos promedio de generación en México han sido variables: Cerro Prieto (3.46 US\$/kWh); Los Azufres (3.29 US\$/kWh); Los Humeros (3.45 US\$/kWh); Tres Vírgenes (3.45 US\$/kWh); y se estiman que en La Primavera (4.11 US\$/kWh).

Geotermia de baja entalpia

Como se mencionó anteriormente la geotermia de baja entalpia es el recurso con temperatura menor a 100°C, el cual se puede encontrar en los estratos superiores de la Tierra de hasta 400 metros (Vielma, 2013).

Por otro lado, ya que las aplicaciones de baja entalpía involucran recursos disponibles a pocas profundidades, las inversiones requeridas y el riesgo inicial es menor que en aplicaciones de alta entalpía.

Otra oportunidad que se presenta con la geotermia de baja entalpia es la posibilidad de contar con sistemas de generación distribuida que permitan el desarrollo regional y la generación de empleos a nivel local así como el fortalecimiento de nuevas cadenas productivas. Lo anterior disminuye las pérdidas de energía durante el transporte y distribución de electricidad.

En el mundo

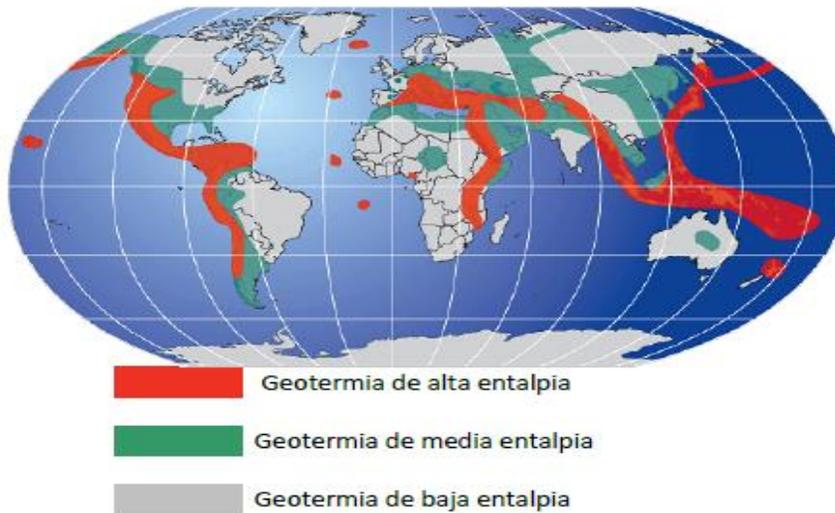


Figura 0.5 Distribución de los recursos geotérmicos mundiales

Fuente (Universidad Politécnica de Baja California, 2011)

En la Figura 2.11 pueden apreciarse las zonas propicias para el aprovechamiento de los sistemas geotérmicos de alta, media, y baja entalpia. Puede observarse que la geotermia de baja entalpia está disponible en prácticamente todo el mundo.

Sin embargo, como también puede observarse en la Tabla 2.2 y Figura 2.12 el aprovechamiento de la geotermia de baja entalpia todavía es muy limitado.

País	Capacidad MWt	Uso anual TJ/año
Argentina ⁹	307.5	3906.7
Francia	1345	12929
Alemania	2485.4	12764.5
México	155.8	4022.8
Noruega	3300	25200
Venezuela	0.7	14
Mundo	50583	438071

Tabla 0.2 Aprovechamiento térmico en recursos de baja entalpia

Fuente: (Universidad Politécnica de Baja California, 2011)

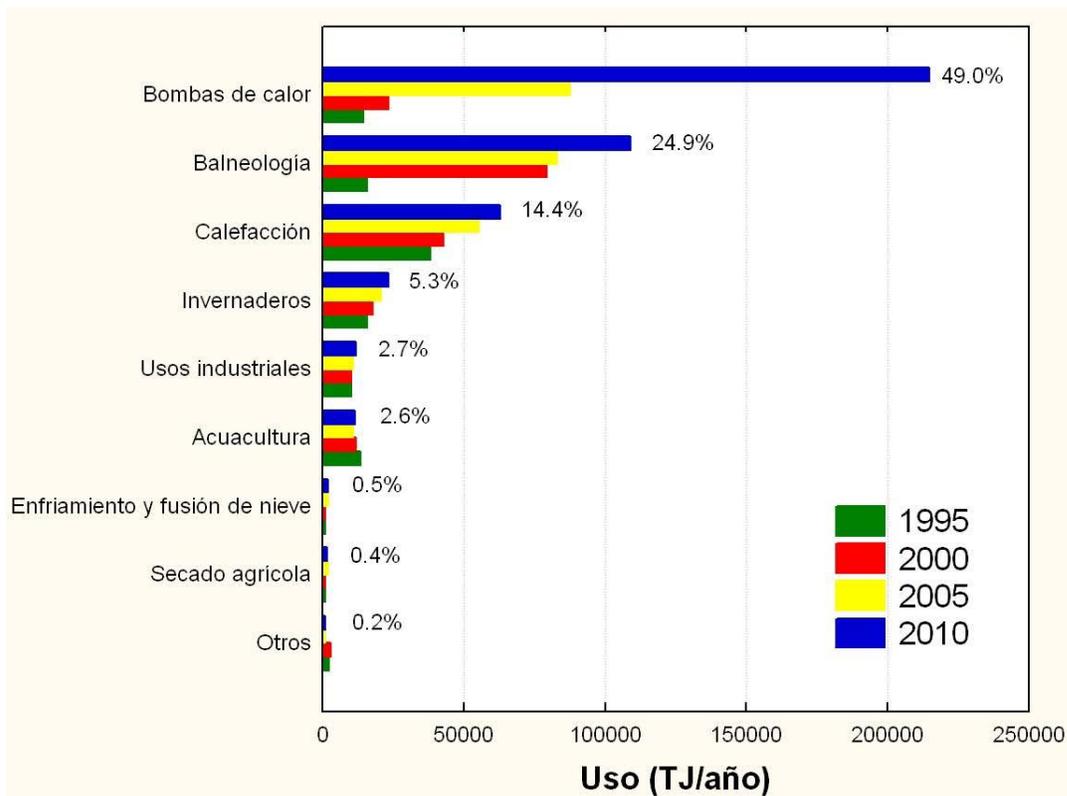


Figura 0.12 Evolución de los usos directos de la energía geotérmica de 1995 al 2010. Los porcentajes junto a la barra azul indican la proporción de la aplicación con respecto al total

Fuente: (Santoyo Gutierrez & Torres Alvarado, 2010)

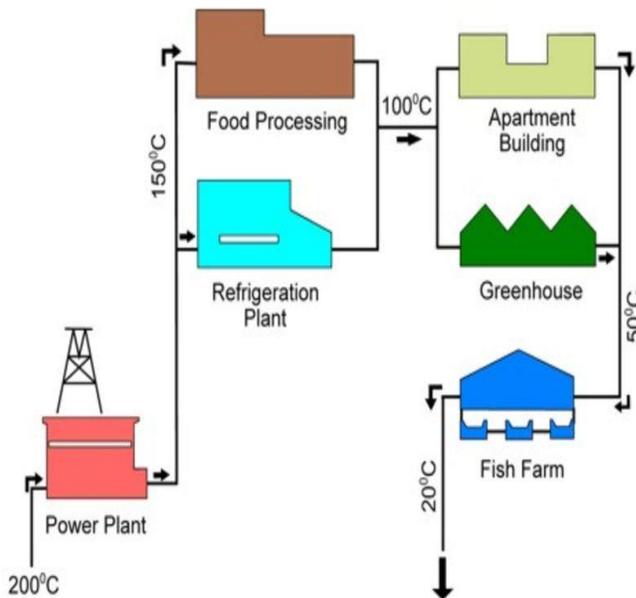


Figura 0.13 Uso en línea o cascada de la energía geotérmica

Fuente (Dickson & Fanelli, 1995)

Se estima que, tal y como ocurre en países de Europa, el uso del calor geotérmico y las bombas de calor constituirán una aplicación muy importante en el futuro ya que permitirá un ahorro importante de energía para el acondicionamiento de espacios en ciudades con temperaturas extremas. En este aspecto, la geotermia tiene la posibilidad de hacer muy eficiente el uso de la energía, ya que el fluido que sale a una temperatura puede ser usado en una segunda aplicación directa, en lo que se llama “uso en cascada” (Figura 2.13) de la energía geotérmica (Santoyo Gutierrez & Torres Alvarado, 2010).

México y su potencial geotérmico

Los usos directos de la energía geotérmica en México se han limitado en aplicaciones de recreación (balneología) y tratamientos terapéuticos. Se estima que la capacidad instalada es de aproximadamente 164 MWt distribuidos en más de 160 sitios en 19 estados de la República. Estos recursos representan aproximadamente 12,939 t/h de agua caliente con una temperatura promedio de 50°C. La capacidad instalada de 155.8 MWt podrían generar 3,721.6 TJ/a con un factor de capacidad promedio de 0.82 (Santoyo Gutierrez & Torres Alvarado, 2010).

Por otra parte la CFE ha desarrollado a lo largo del tiempo proyectos pilotos para el aprovechamiento de los recursos de baja entalpia, en los campos geotérmicos de Cerro Prieto, Los Azufres y Los Humeros, entre las cuales destacan: extracción secundaria de minerales en lagunas de evaporación; calefacción de oficinas e invernaderos, aplicaciones agrícolas en el secado de alimentos y madera. Asimismo, se han realizado trabajos de investigación con bombas de calor operadas con energía geotérmica para aplicaciones de refrigeración y purificación de efluentes industriales.

En México un reciente estudio realizado por el instituto de ingeniería muestra que en la península de baja california destacan varias zonas termales con recurso de baja entalpia como se puede ver en la Figura 2.14.

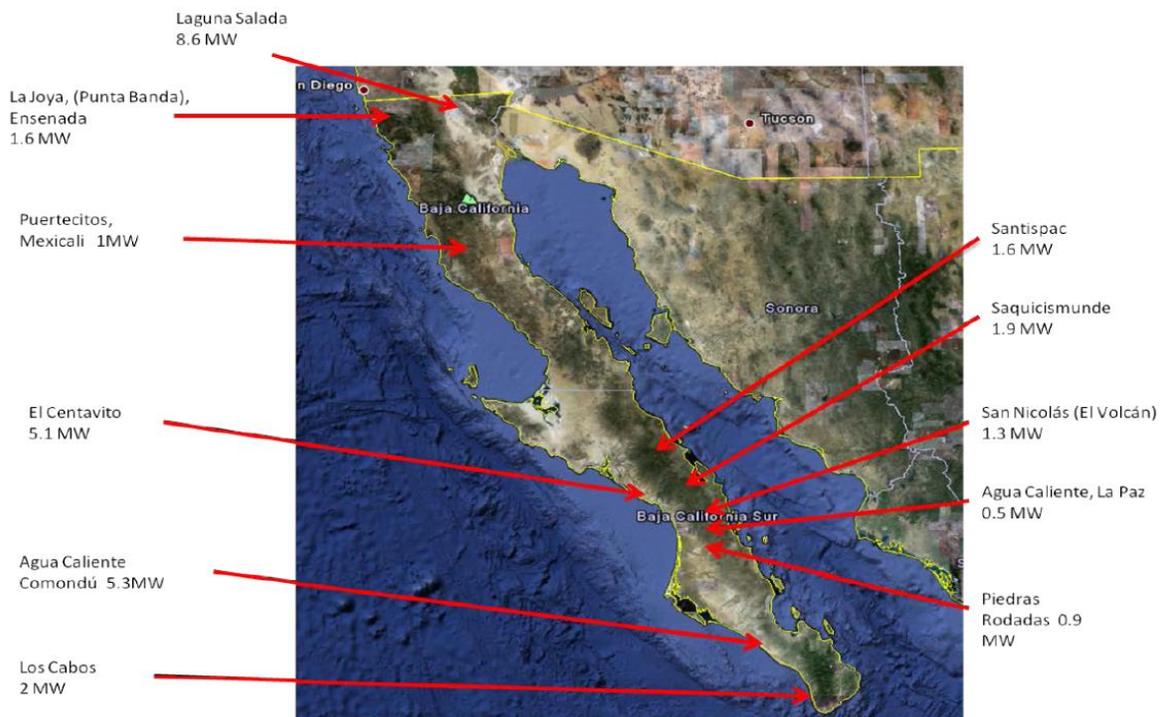


Figura 0.64 Mapa de Baja California con zonas termales

Fuente (Universidad Politécnica de Baja California, 2011)

México cuenta con diversas estimaciones sobre el potencial geotérmico del país, las cuales han ido variando y han ido aumentando en un rango de 4,000 a 9,686 MWe (Tabla 2.3). Cabe advertir que de tales zonas, excepto la de San Marcos, Jal., resultó fallida, pues las demás ya han sido desarrolladas (Los Azufres, Michoacán, Los Humeros, Puebla) o siguen siendo consideradas a la fecha con alto potencial geotermoeléctrico.

AUTOR	AÑO	CAPACIDAD INSTALADA EN ESA FECHA (MW)	PRINCIPALES PREMISAS Y BASES DE LA ESTIMACIÓN	TOTAL (MWe)
Alonso, H.	1975	75	Se asumió un potencial de 500 MWe en cerro prieto, 100 MWe en diversas zonas estudiadas y 75 MW en zonas no estudiadas hasta esa fecha.	4,000
Mercado, S.	1976	75	Método volumétrico con base en características fisicoquímicas y geotermómetros conocidos en esa fecha.	13,110
Alonso, H	1985	170	Estimación geológica. Se estimaron reservas probadas por 1340 MWe, probables de 4600 MWe y posibles de 6000 MWe	11,940
Mercado y otros	1985	170	Método volumétrico estimando recursos de temperaturas intermedias (125-135°C) en dos zonas del país: centro (3600 km ² y 2 km de espesor) y sur (2000 km ² y 1.5 km de espesor).	45,815
Iglesias y Torres	2009	958	Estimación de calor almacenado a 3 km mediante un método volumétrico y Montecarlo para el 21% de recursos de temperatura baja a intermedia en 20 estados del país.	77-86 (EJt)
Ordaz y otros	2011	958	Método volumétrico sobre 1300 localidades termales de baja a alta temperatura. Reservas probadas: 186 MWe, probables: 2077 MWe, posibles: 7423 MWe.	9,686

Tabla 0.3 Principales estimaciones del potencial geotérmico de México para generar electricidad a partir de recursos de tipo hidrotermal

Fuente (Hiriart, Gutierrez, Quijano, Ornelas, Espindola, & Hernandez, 2011)

Aspectos ambientales

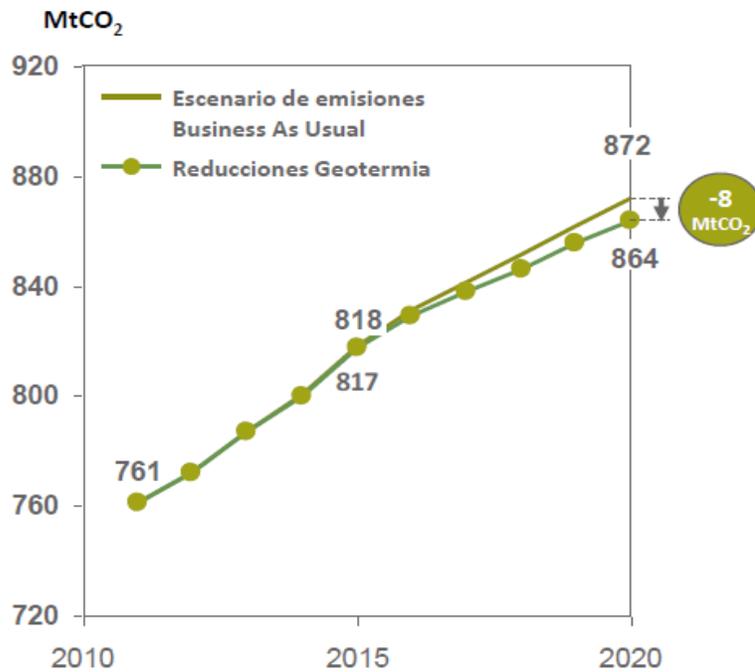
Los procesos de generación de electricidad, en sus diversas formas, constituyen una de las actividades de mayor impacto ambiental. Los daños más importantes derivados de la utilización, transformación y transporte de la energía están asociados a las emisiones atmosféricas que provocan el calentamiento global del planeta.

En el caso de la energía geotérmica, los impactos medioambientales son destacadamente menores que los existentes en las centrales térmicas de combustibles fósiles y nucleares, incluso menores en comparación con otras fuentes de energías renovable. Los residuos y emisión de gases que produce son muy bajos con comparación con otras fuentes térmicas de energía, además de ocupar un espacio reducido de terreno y su indudable carácter autóctono. (Llopis & Angulo, 2008)

Las centrales geotérmicas ocupan menos espacio en comparación con las instalaciones de otras fuentes de energía y es posible integrarlas fácilmente al paisaje, además los impactos a los ecosistemas por su uso son mínimos y de fácil manejo.

A continuación se explican algunos de los problemas más comunes que se pueden encontrar (Llopis & Angulo, 2008):

- Es habitual que el fluido geotérmico lleve gases disueltos como el CO₂ y sulfuro de hidrogeno, los cuales deben eliminarse porque alteran el normal funcionamiento de los equipos que componen la instalación como condensadores, intercambiadores de calor, y algunos gases como el sulfuro de hidrogeno son tóxicos, por lo que no pueden liberarse directamente a la atmosfera.
- Es fundamental conocer la composición salina del recurso antes de diseñar la instalación geotérmica:
 - El fluido en el almacén geotérmico puede estar saturado de sales, por lo que al enfriarse estas sales se precipitan y se pueden producir incrustaciones, lo que provoca problemas como estrangulación progresiva del pozo de extracción y muy mal funcionamiento de bombas, válvulas etc.
 - Si el fluido tiene una alta concentración de sales y/o sustancias toxicas, se deberá evitar cualquier tipo de vertido a las aguas superficiales.
- Hay yacimientos geotérmicos capaces de proporcionar energía durante muchas décadas, pero otros pueden llegar a agotarse y enfriarse, motivado en muchos casos por la inyección del agua fría en el acuífero. Los pozos de reinyección deben situarse a una distancia prudencial de los de producción.



Otro punto importante es que la explotación de la energía geotérmica permitiría capturar el 14% del potencial de abatimiento de emisiones de CO₂ en el sector eléctrico a 2020. El aprovechamiento del potencial geotérmico reduciría 8 MtCO₂ las emisiones totales esperadas en 2020 (Figura 2.15) (SENER, 2012).

Figura 0.75 Reducciones de emisiones con geotermia

Fuente (SENER, 2012)

Aspectos socioeconómicos

Según la GEA (Geothermal Energy Association), los empleos generados por la energía geotérmica son generalmente estables, de larga duración, muy diversificados y de alta calidad (instituto para la diversificación y ahorro de energía, 2008).

La tabla 2.4 contiene una comparativa entre las tasas de estimación de empleo generado en EUA, para dos tipos de fuente de energía: la geotermia y el gas natural, durante las fases de construcción e instalación y operación y mantenimiento.

	Fase de construcción e instalación (trabajos/MW)	Fase de operación y mantenimiento (trabajos/MW)
Geotermia	4	1.7
Gas natural	1	0.1

Tabla 0.4 Comparativa de empleo para dos tipos de energía

Fuente (Llopis & Angulo, 2008)

Además, el avance de la energía geotérmica puede generar desarrollo regional, ya que en la mayoría de los casos los recursos geotérmicos tienden a estar localizados en áreas rurales con pocas oportunidades de empleo. Como la energía geotérmica deber ser explotada donde el recurso está localizado, la instalación de una central de generación puede producir beneficios socioeconómicos en zonas más desfavorecidas (Llopis & Angulo, 2008).

En resumen el desarrollo de proyectos geotérmicos puede influir positivamente en la economía del país de la siguiente manera:

- La creación de plantas geotérmicas genera nuevos puestos de trabajo estables.
- El uso de la energía geotérmica en la agricultura permite disponer de los productos en cualquier fecha del año y en buenas condiciones lo que influye en la capacidad de producción del país y en el precio del producto final.
- Esta energía es autóctona y permitirá reducir la dependencia energética al petróleo.
- Puede contribuir a la disminución de las puntas de demanda de energía eléctrica por sus aplicaciones en climatización y refrigeración.
- Por otro lado, es importante mencionar que los costos de la generación geotérmica no están expuestos a la volatilidad de los mercados del petróleo o del gas.

En la Figura 2.16 se exponen algunos de los impactos socioeconómicos que tiene el uso de la energía geotérmica, y a pesar de estas ventajas, en México existen diversos obstáculos que han frenado el desarrollo de la energía geotérmica, particularmente de baja entalpía.

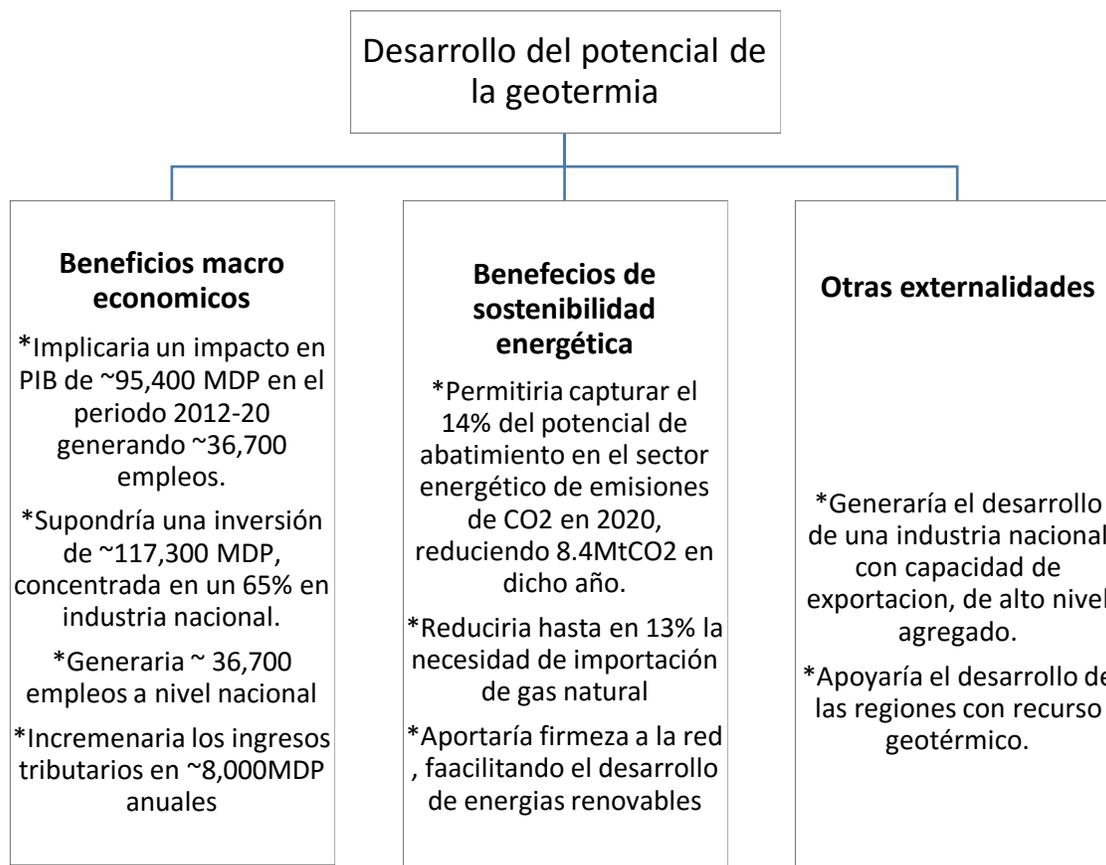


Figura 0.86 Impactos del uso de la energía geotérmica

Fuente (SENER, 2012)

Los proyectos de baja y media entalpia

Los proyectos de baja y media entalpia

En este capítulo se presenta un resumen de los proyectos geotérmicos de baja y media entalpía, que el grupo iiDEA (Instituto de Ingeniería, Desalación y Energías Alternas) ha desarrollado. Esto tiene el objeto de mostrar la importancia del desarrollo tecnológico de la geotermia de baja y media entalpía y sus aplicaciones para México y con ello valorar la importancia de un marco regulatorio en esta materia.

iiDEA tiene como objetivo el contribuir a solucionar los problemas de escasez y contaminación de agua, potabilizar agua salobre y de mar, generación de energía eléctrica y la preservación de alimentos por medio de la deshidratación, realizándolo mediante la utilización de los recursos naturales de una manera amigable y responsable con el medio ambiente.

Dentro de los proyectos del grupo iiDEA se tienen tres proyectos:

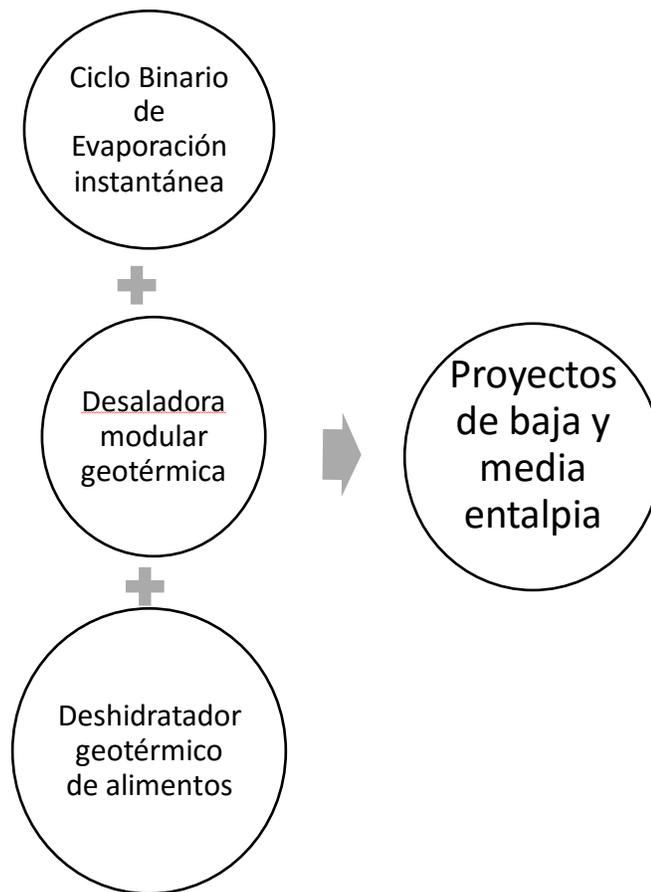


Figura 0.1 Proyectos iiDEA de baja y media entalpia

Ciclo binario de evaporación instantánea

El principio de funcionamiento de este ciclo, inicia con la extracción de la energía térmica del flujo proveniente de un pozo geotérmico, o fuente de calor, el término geotérmico hace referencia al agua con temperatura considerablemente mayor a la ambiental, que se localiza en zonas profundas del subsuelo; el término fuente de calor hace referencia a cualquier suministro de energía térmica con temperatura notablemente mayor a la ambiental. El flujo proveniente de la fuente de calor viene con una temperatura de 140°C y cederá parte de su energía, a través de un intercambiador de calor de placas planas, a un fluido de trabajo. Este ciclo en el prototipo de laboratorio está diseñado para generar 1KWe y requiere de un gasto $0.15 \frac{Kg}{s}$, sin embargo se quiere implementar con un fluido orgánico (isopentano), con la finalidad de poder generar hasta 10 KWe.

El fluido de trabajo presurizado se calienta hasta su punto de saturación y se hace pasar a través de una placa orificio, donde disminuye su presión drásticamente, dando lugar a una mezcla de líquido-vapor saturada (Evaporación Flash). Ésta mezcla es enviada a un separador, de donde se obtienen dos líneas de flujo, una de líquido saturado y una de vapor saturado. El vapor pasa a través de la turbina de alta velocidad acoplada a un generador eléctrico, transformando parte de su energía en energía eléctrica. Una vez realizado el trabajo, el vapor exhausto es llevado a un condensador, donde cede energía en forma de calor a un líquido proveniente de un circuito de enfriamiento que, como consecuencia incrementa su temperatura. El fluido de trabajo condensado pasa por una bomba donde eleva su presión a las condiciones del flujo para ser mezclados en el colector. La mezcla resultante incrementa su presión con la bomba, iniciando nuevamente el ciclo.

En la figura 3.2 se muestra un diagrama del ciclo CBEI, en el que se aprecian las principales partes y elementos que lo integran, distinguiéndose en dicho esquema las dos partes diferenciadas de su proceso productivo: el ciclo orgánico de Rankine y el circuito asociado al recurso geotérmico.

La descripción de los elementos se detalla a continuación:

- Pozo geotérmico con fluido de aporte de calor.
- Intercambiador de calor de placas líquido-líquido.
- Placa orificio reductora de presión.
- Separador de flujo bifásico.
- Turbina de vapor.
- Generador eléctrico.
- Intercambiador de tubo y coraza para condensación.
- Bomba de extracción de condensados.

- Mezclador de flujos líquido-líquido.
- Bomba de recirculación.

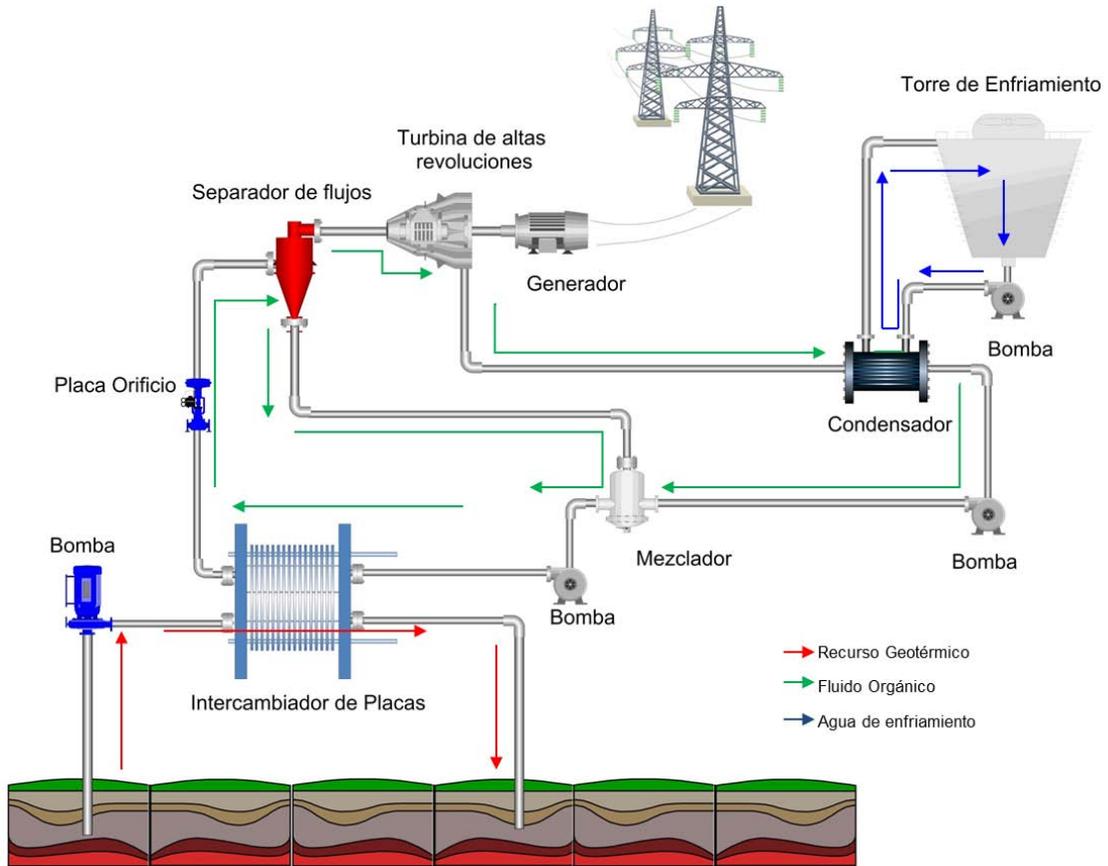


Figura 0.2 Ciclo CBEI

Fuente (iiDEA, 2014)

En la tabla 3.1 se muestran los principales datos operativos del ciclo binario de evaporación instantánea.

Temperatura del recurso geotérmico	140°C
Energía generada	1KWe
Gasto másico de recurso geotérmico	0.15 Kg/s

Tabla 0.1 Datos operativos del CBEI

Desaladora modular geotérmica

La desaladora modular geotérmica tiene como propósito lograr la desalación de agua de mar o salobre mediante la utilización de energía proveniente de un yacimiento geotérmico de baja entalpia (fluido a 90 °C).

El proceso consta de tres efectos de evaporación a presiones por debajo de la atmosfera, consecutivas y decrecientes cuyo objetivo es obtener agua destilada. Su variante respecto a un sistema MED convencional, es la conducción del fluido de aporte energético a través de todas las cámaras, con ello, se logra un mejor aprovechamiento de energía térmica primaria.

Uno de los retos es lograr un diseño capaz de mitigar los efectos corrosivos del agua salada y el fluido geotérmico, y así evitar excesivos mantenimientos. En primera instancia, se aplicara esta tecnología para desalar agua de mar en las costas de baja california, debido a la disponibilidad de efluentes geotérmicos de baja entalpia y para abatir el problema de suministro de agua.

El funcionamiento, es similar a un sistema de desalación MED convencional, el agua de mar es tomada e introducida en un condensador de contacto indirecto, donde se busca precalentar el agua de mar por una parte y por otra condensar el vapor resultante del ultimo efecto de la unidad desaladora.

Al otro extremo del proceso, se inyecta fluido geotérmico de baja entalpia, a una temperatura de 90°C en la primera cámara, el propósito es que este fluido transfiera parte de su energía térmica al fluido que circula por la parte interna de la cámara, el fluido geotérmico abandona este primer efecto a una temperatura razonablemente alta.

En tanto, la alimentación hacia las cámaras se hace en paralelo con el agua de mar pre-calentada en el condensador, se especifica que en este primer efecto la presión está por debajo de la atmosférica, en este primer efecto el agua de mar adquiere calor del fluido geotérmico de aporte, hasta llegar a su temperatura de evaporación, parte del agua de mar se evapora y es inducida al efecto siguiente. En tanto la salmuera resultante, que cuenta con una cantidad de energía térmica también es inducida al segundo efecto.

Dentro de la segunda cámara se introducen por un lado la salmuera del efecto anterior y el agua de mar precalentada, por el otro lado se introduce el vapor generado en

la primer cámara y el fluido geotérmico, tanto el calor latente y el sensible de ambas sustancias, respectivamente, provocan un incremento en la energía térmica del agua de mar del segundo efecto y de la salmuera, el propósito es lograr la evaporación de cierta cantidad de agua de mar y de la salmuera por el incremento en energía térmica y efecto flash debido a la caída súbita de presión, respectivamente. La extracción de condensados se realiza entre una cámara y otra. Este proceso se puede repetir “n” número de veces, con el propósito de aumentar la cantidad de condensado obtenido, de estudios previos (Salmerón, 2012), se ha deducido que tres efectos son la cantidad ideal en la cual se mantienen en margen, los gastos energético y económicos durante el proceso.

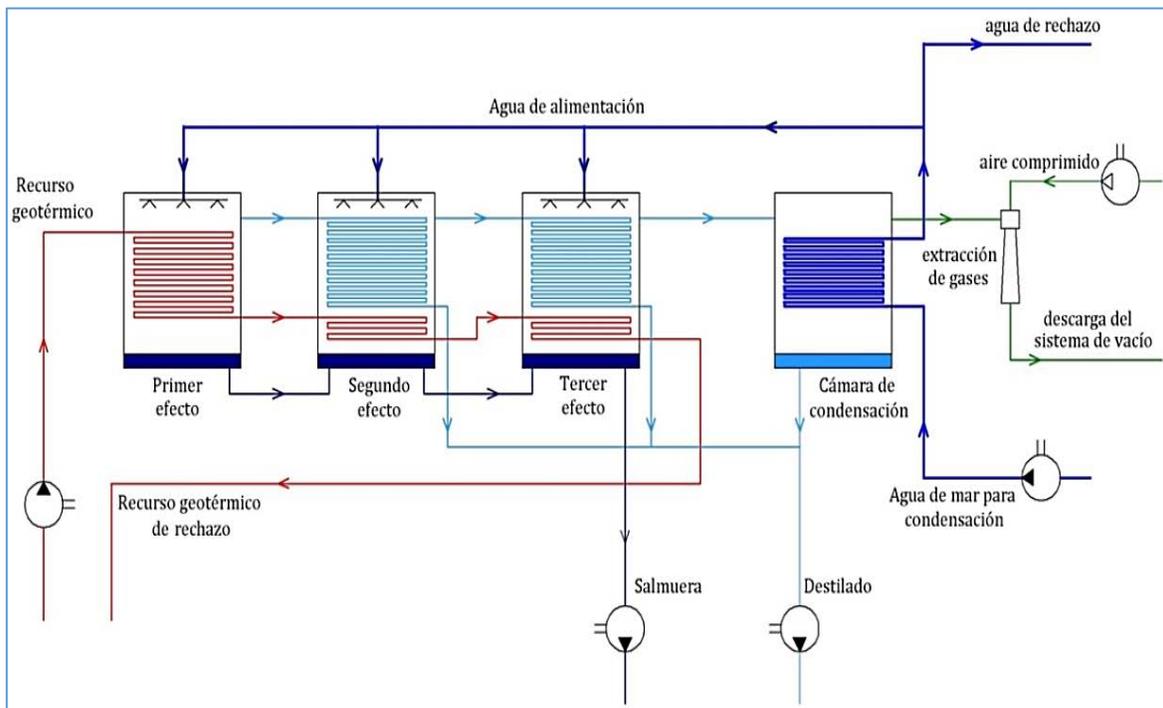


Figura 0.3 Desaladora modular geotérmica DMG

Fuente (iiDEA, 2014)

En la figura 3.3 se muestra el esquema de la desaladora modular geotérmica, se consideran la mayor cantidad de detalles, para el funcionamiento de la planta, desde un punto de vista térmico. Los sistemas auxiliares, son el sistema de vacío o extracción de gases no condensables y extracción de agua producto. También se contempla la reinyección de fluido geotérmico hacia el yacimiento.

En la tabla 3.2 se muestran los principales datos operativos del ciclo binario de evaporación instantánea.

Temperatura del recurso geotérmico	90°C
Gasto del recurso geotérmico	14.7 Kg/s
Producción de agua desalada	120 m ³ /s

Tabla 0.2 Datos operativos de la DMG

Deshidratador geotérmico de alimentos

El interés de este proyecto surge después de observar que un alto porcentaje de desperdicio en la producción de frutas y verduras ya que no se logran colocar en el mercado por su baja demanda. Lo anterior si lo conjuntamos con la riqueza de fuentes de energía geotérmica de baja entalpia, se puede aprovechar esta energía térmica para extraer humedad a los alimentos y con esto aumentar el tiempo de vida de anaquel de los alimentos al mismo tiempo que se le da un valor agregado al producto abriendo nuevo mercados.

México debe su gran diversidad de frutas, hortalizas y semillas a su privilegiada posición geográfica en el mundo. Si juntáramos todas las frutas y verduras producidas en México, las naranjas serían lo más abundante de nuestra cosecha, sumando casi 3.67 millones de toneladas, seguida del jitomate con 2.84 millones de toneladas y el chile verde en tercer lugar con 2.38 millones de toneladas (Pérez, 2014).

Actualmente los procesos de deshidratación se basan en el uso de la energía térmica del aire para evaporar y extraer la humedad del alimento. El aire se calienta antes de entrar en contacto con el alimento, generalmente por medio de serpentines de vapor o agua caliente, con lo cual disminuye su humedad relativa, lo que permite llevar a cabo el proceso de secado. El aire es forzado por un ventilador a pasar a través de la cámara de calefacción y la cámara de secado, a su paso por el alimento, es extraída la humedad conforme al equilibrio de presión de vapor en el medio. La humedad en el interior del alimento se mueve por difusión de vapor, agua o por la hidrodinámica del flujo capilar. Al final de su recorrido el aire está en un estado saturado y debe ser expulsado por la chimenea localizada al final de la cámara de secado (iiDEA, 2014).

En este dispositivo se sigue un proceso similar, manteniendo los siguientes componentes, cuyo acoplamiento se detalla en seguida:

El sistema del deshidratador está diseñado para que opere con geotermia de baja entalpía. El recurso geotérmico de baja temperatura (90°C) es extraído del pozo y se ingresa a un intercambiador de calor de placas planas en donde cede parte de su energía al otro fluido de trabajo que corresponde a agua desmineralizada, por medio de una bomba, y que se almacena en un tanque. Una vez llevado a cabo este proceso de transferencia, el fluido geotérmico es reinyectado al subsuelo.

Posteriormente, el agua desmineralizada caliente (aproximadamente a 80 °C) se hace fluir por un intercambiador de calor de tubos con arreglo triangular o también

llamado cámara de calefacción, que a su vez permitirá que la temperatura del aire impulsado por medio de un ventilador se incremente hasta 60°C, el cual entrará por un extremo de la cámara de calefacción, y una vez calentado se ingresará a la cámara de secado para la extracción gradual de la humedad de los alimentos, hasta tener cierto porcentaje (8%). Finalmente el aire utilizado es expulsado a la atmósfera por medio de una campana de extracción.

En la tabla 3.3 se muestran los principales datos operativos del deshidratador geotérmico de alimentos.

Temperatura recurso geotérmico	90°C
Gasto del recurso geotérmico	2.5Kg/s
Cantidad de producto fresco	85 Kg
Cantidad de producto deshidratado	15 Kg

Tabla 0.3 Datos operativos del deshidratador geotérmico

En la figura 3.4 se puede apreciar el diagrama del proceso de secado de frutas, en donde en primer lugar tenemos el pozo de extracción posteriormente el recurso geotérmico se hace pasar por un intercambiador de placas donde calentamos el agua que se hace pasar al intercambiador de tubos aletados dentro de la cámara de secado para calentar el aire que posteriormente va a extraer la humedad del alimento.

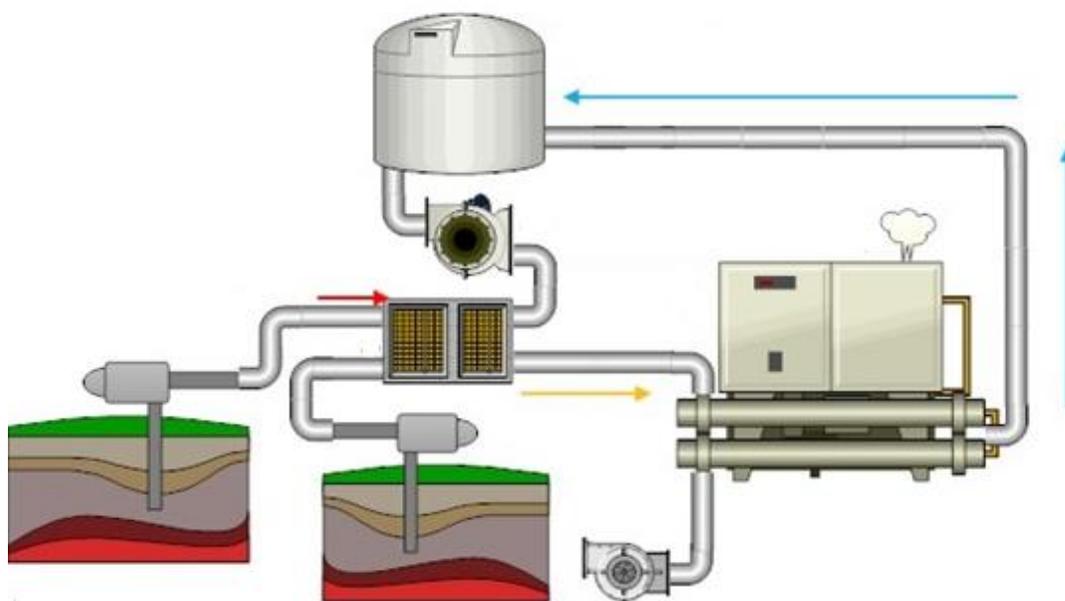


Figura 0.4 Deshidratador geotérmico de alimentos

Fuente (iiDEA, 2014)

Validación de los proyectos de baja entalpia

En México no se ha establecido un procedimiento claro y conciso para la implementación de proyectos de baja y media entalpia, sin embargo la es más clara para los proyectos de alta entalpia como se puede ver en la figura 3.5 que enlista las diferentes leyes que se deben cumplir para la implantación de proyectos geotérmicos en México. Cabe mencionar que en esta lista no se hace mención a las distintas normas reguladas por la SEMARNAT, la PROFEPA o demás instituciones gubernamentales.

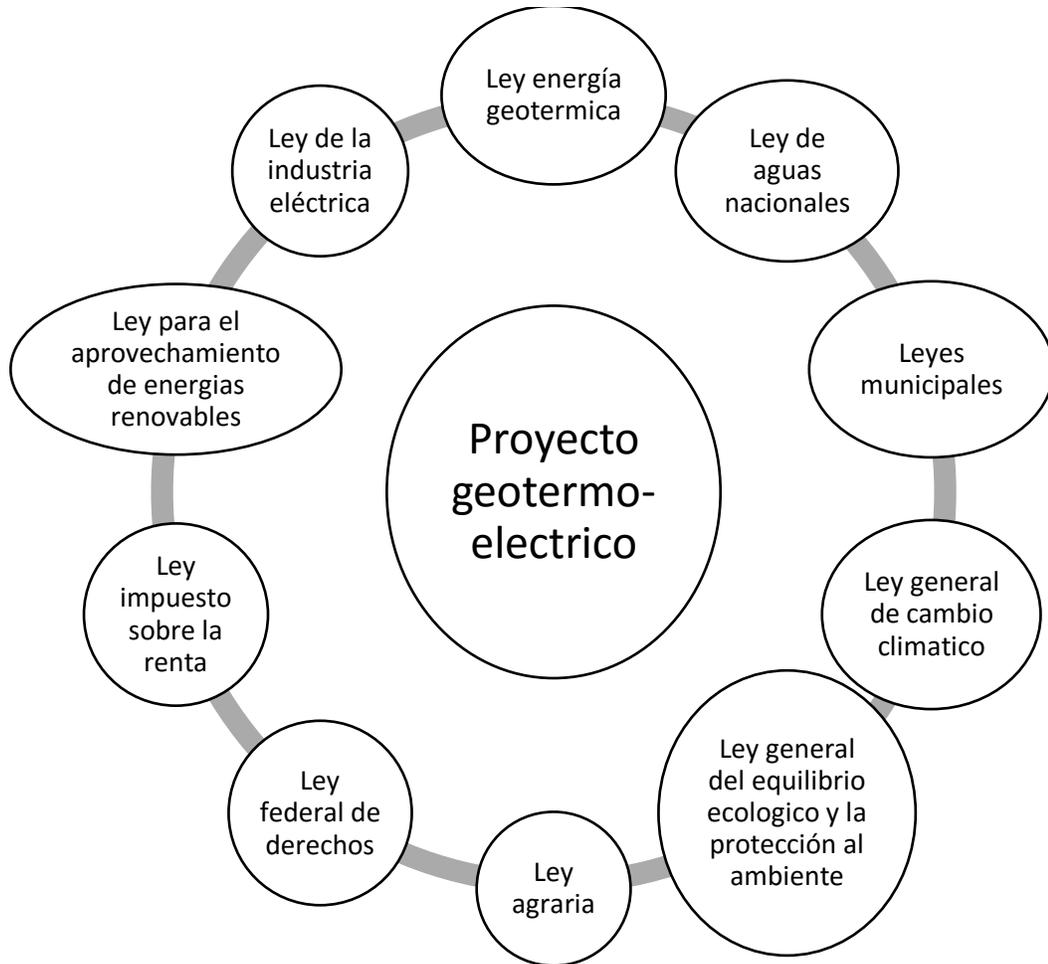


Figura 0.5 Leyes que se deben cumplir para la puesta en marcha de los proyectos geotermoeléctricos

NOM 150 SEMARNAT 2006

Actualmente la NOM-150-SEMARNAT-2006 se encuentra en proceso de actualización por lo que se analizarán los proyectos con la norma emitida en el año 2006, el objetivo de esta norma es establecer las especificaciones técnicas de protección ambiental que deben observarse en las actividades de construcción y evaluación preliminar de pozos geotérmicos para exploración hasta su evaluación preliminar, que se ubiquen en zonas agrícolas, ganaderas y eriales, fuera de áreas naturales protegidas y terrenos forestales y es de observancia obligatoria.

El contenido de esta norma se ejemplifica en la figura 3.6:

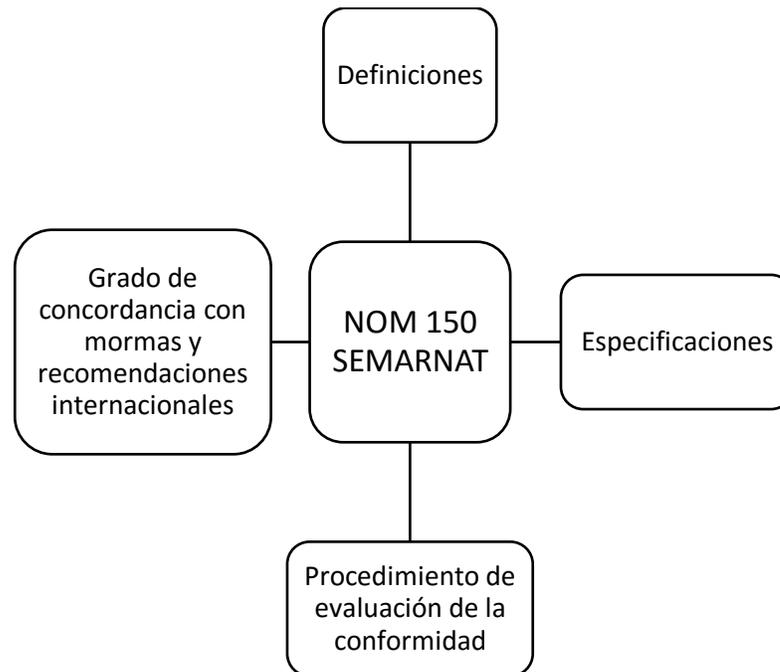


Figura 0.6 NOM 150 SEMARNAT

En la sección de definiciones se enlistan diferentes conceptos aplicables a dicha norma se pueden ver a detalle en la de anexos del presente trabajo, en la sección de especificaciones se marcan las disposiciones generales, la preparación del sitio y construcción, perforación de pozos, evaluación de pozos geotérmicos y al final se enuncia la terminación de actividades y abandono del sitio.

Los proyectos de baja entalpia del grupo iiDEA no requieren de perforaciones profundas como los de una central geotermoeléctrica, para este tipo de proyectos puede encontrarse el recurso a bajas profundidades o en algunos casos se encuentran manifestaciones a nivel de suelo, sin embargo como es una buena posibilidad implementar este tipo de proyectos en las centrales geo termoeléctricas utilizando el vapor proveniente de las plantas, resulta necesario revisar la norma que se encarga de evaluar los impactos ambientales en la perforación de pozos.

La parte modular de esta norma se ve en la evaluación de la conformidad donde se muestran los procedimientos que se deben seguir y aplicar a la evaluación del cumplimiento de dicha norma a lo largo de todo el proyecto (SEMARNAT, 2006). Debido a esto el grupo iiDEA debe focalizar su atención a los puntos que hace mención la norma como:

- Inicio de la construcción de pozos geotérmicos
- Construcción de pozos geotérmicos
- Evaluación preliminar de pozos
- Término de las actividades y abandono del sitio

Cabe mencionar que los puntos mencionados anteriormente solo tienen relevancia si es necesaria la perforación de pozos y si así fuera el caso es importante no olvidar poner toda la señalización correspondiente como son:

- Nombre de campo geotérmico
- Número o clave del pozo geotérmico exploratorio
- Localización (coordenadas geográficas o UTM)
- Zonas de riesgo volcánico
- Zonas de posibles deslaves en torno a las instalaciones
- Zonas de protección

Debido a que los proyectos iiDEA son proyectos que aprovechan recurso geotérmico considerado como energía renovable es importante cuidar los aspectos ambientales y sociales desde la etapa de exploración hasta cuando llegue la etapa del desmantelamiento del proyecto para que en base a ese cuidado que se le ponga a todas las cuestiones ambientales se siga impulsando el uso de la energía geotérmica y demás fuentes de energía renovable.

Esta norma establece un punto importante: No hay normas equivalentes y además, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma Oficial Mexicana se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

Dicha norma nos refiere a distintas normas como son:

- NOM-004-CNA-1996
- NOM-052-SEMARNAT-2005
- NOM-053-SEMARNAT-1993

En el anteproyecto de modificación de la norma oficial mexicana iniciado en octubre de 2014 tampoco se incluyó un apartado en el que se regule a los proyectos de baja

entalpia, sin embargo en los anexos del presente trabajo se anexan algunos puntos importantes.

Reglamento de la ley de energía geotérmica

El presente reglamento de la ley de energía geotérmica emitido junto con la presente ley de energía geotérmica, tiene como objetivo establecer los requisitos, procedimientos y demás actos que permitan la realización de las actividades de reconocimiento, exploración y explotación de recursos geotérmicos previstas en la ley de energía geotérmica, para el aprovechamiento de la energía térmica del subsuelo dentro de los límites del territorio nacional, con el fin de generar energía eléctrica o destinarla a usos diversos (Diario oficial de la federación, 2014). En la sección de anexos de este trabajo se presentan las definiciones que contiene el reglamento de energía geotérmica.

La estructura interna del reglamento de energía geotérmica se muestra en la figura3.7:

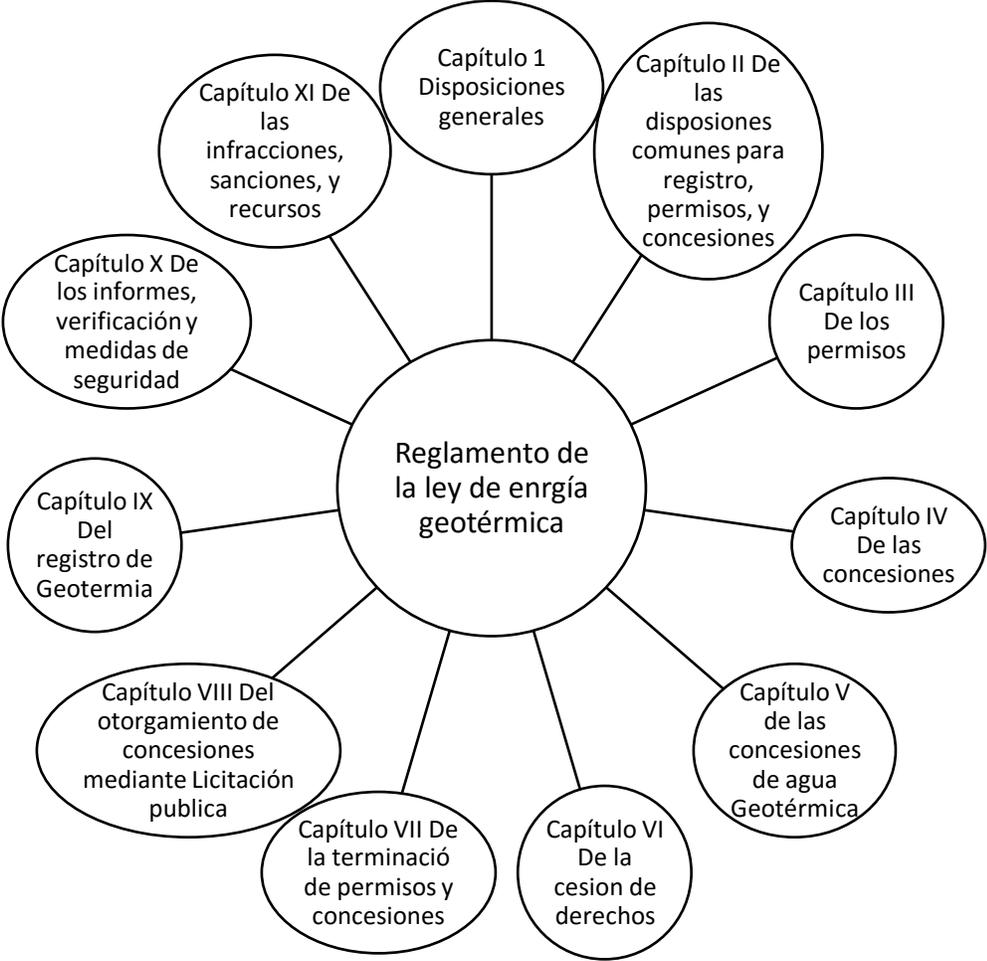


Figura 0.7Contenido del reglamento de la ley de energía geotérmica

Este reglamento tampoco contempla los usos directos de la geotermia, se enfoca principalmente a la geotermia de alta entalpia y su aprovechamiento para la generación de energía eléctrica.

Normas aplicables al ciclo binario evaporación instantánea de generación eléctrica

El ciclo binario de evaporación instantánea tiene que cuidar el aspecto de emisión de ruido y de vibración por parte de los equipos que conforman el ciclo de generación a continuación en la tabla 3.4 se enuncian algunas de estas normas.

Nombre	Objetivo	Campo de aplicación
Reglamento para la protección del ambiente contra la contaminación originada por la emisión de ruido	Reducir la contaminación ambiental originada por la emisión de ruido, así como para facilitar a las industrias establecidas y a las que en lo futuro se establezcan, la fabricación, adquisición e instalación de equipos y aditamentos que tengan por objeto medir, controlar o abatir la contaminación provocada por la emisión del ruido.	Industrial
ISO 2631-1 (1997) vibraciones cuerpo completo	Definición de los métodos para cuantificar las vibraciones cuerpo completo, de acuerdo a: <ul style="list-style-type: none"> •La salud humana •El confort y la percepción de las vibraciones •La incidencia del “malestar en el transporte” En la Norma no se establecen límites de exposición a las vibraciones, sino que se concretan los métodos de evaluación	Industrial
NOM-081-SEMARNAT-1994	Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido que genera el funcionamiento de las fuentes fijas y el método de medición por el cual se determina su nivel emitido hacia el ambiente	Esta norma oficial mexicana se aplica en la pequeña, mediana y gran industria, comercios establecidos, servicios públicos o privados y actividades en la vía pública

Tabla 0.4 Otras normas aplicables al ciclo binario de evaporación instantánea

Normas aplicables a la desaladora modular geotérmica

La desaladora modular geotérmica tiene que cuidar varios aspectos entre los más importantes se encuentran los del sector salud debido a que vamos a estar tratando agua para el consumo humano, a continuación en la tabla 3.5 se enuncian algunas de estas normas.

Nombre	Objetivo	Campo de aplicación
NOM-081-SEMARNAT-1994	Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido que genera el funcionamiento de las fuentes fijas y el método de medición por el cual se determina su nivel emitido hacia el ambiente	Esta norma oficial mexicana se aplica en la pequeña, mediana y gran industria, comercios establecidos, servicios públicos o privados y actividades en la vía pública
NOM-127-SSA1-1994	Esta norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano.	Sector salud e industrial
NOM-008-SCF1-1993	Sistema General de unidades de medida.	Sector salud e industrial
NOM-012-SSA1-1993	Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados.	Sector salud e industrial
NOM-013-SSA1-1993	Requisitos sanitarios que debe cumplir la cisterna de un vehículo para el transporte y distribución de agua para uso y consumo.	Sector salud e industrial
NOM-014-SSA1-1993	Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano, en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.	Sector salud e industrial
NOM-112-SSA1-1993	Determinación de bacterias coniformes. Técnica del número más probable	Sector salud e industrial
NOM-117-SSA1-1993	Bienes y Servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc, y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.	Sector salud e industrial

Tabla 0.5Otras normas aplicables a la desaladora modular geotérmica

Otras normas aplicables al deshidratador geotérmico de alimentos

La desaladora modular geotérmica tiene que cuidar varios aspectos entre los más importantes se encuentran los del sector salud debido a que vamos a estar tratando agua para el consumo humano, a continuación en la tabla 3.6 se enuncian algunas de estas normas.

Nombre	Objetivo	Campo de aplicación
NOM-050-SCFI-2004	Establecer la información comercial que deben contener los productos de fabricación nacional y de procedencia extranjera que se destinen a los consumidores en el territorio nacional y establecer las características de dicha información.	Productos de fabricación nacional y de procedencia extranjera destinados a los consumidores en territorio nacional.
NOM-002-SCFI-2011	Establecer las tolerancias y los métodos de prueba para la verificación de los contenidos netos de productos pre envasados y los planes de muestreo usados en la verificación de productos que declaran su contenido neto en unidades de masa o volumen.	Productos de fabricación nacional y/o de importación que se comercialicen en Territorio Nacional. Nota: La presente Norma Oficial Mexicana no es aplicable a los productos a granel.
NOM-030-SCFI-2006,	Establecer la ubicación y dimensiones del dato cuantitativo referente a la declaración de cantidad, así como de las unidades de medida que deben emplearse conforme al Sistema General de Unidades de Medida y las leyendas: contenido, contenido neto y masa drenada, según se requiera en los productos pre envasados que se comercializan en territorio nacional al consumidor.	Productos de fabricación nacional y de procedencia extranjera destinados a los consumidores en territorio nacional. Nota: Esta Norma Oficial Mexicana no aplica a los productos que se venden a granel ni aquellos que se comercializan por cuenta numérica en envases que permiten ver el contenido o que contengan una sola unidad, o que presenten un gráfico del producto siempre y cuando en este gráfico no aparezcan otros productos no incluidos en el envase.
NMX-F-090-S-1978.	Establecer el procedimiento para la determinación de fibra cruda en productos alimenticios.	Productos de fabricación nacional y de procedencia extranjera destinados a los consumidores en territorio nacional.

NMX-F-068-S-1980.	Establecer el procedimiento para determinar proteínas en productos alimenticios.	Productos de fabricación nacional y de procedencia extranjera destinados a los consumidores en territorio nacional.
NMX-Z-12/1-1987	Proporcionar información general sobre los conceptos y los procedimientos básicos de muestreo en general y en especial, el muestreo por atributos, proporcionando los elementos para la aplicación apropiada de la inspección por muestreo, de gran utilidad para personal de los departamentos de control de calidad, diseño o ingeniería, personal que labora normas y especificaciones, y en general a todas aquellas personas relacionadas con los problemas de inspección.	Productos de fabricación nacional y/o de importación que se comercialicen en Territorio Nacional.

Tabla 0.6 Otras normas aplicables al deshidratador geotérmico de alimentos

En esta tabla se presentan dos diferentes tipo de normas las NOM y las NMX, la ley Federal sobre Metrología y Normalización contempla estas dos clases de normas las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de carácter obligatorio "debe" de aplicación nacional y las Normas Mexicanas (NMX) voluntarias "puede" de aplicación nacional, regional o local. La formulación y aprobación de las NOM se hacen en base a las experiencias acumuladas del comportamiento, a los fundamentos técnicos del campo al que se aplican, a los avances tecnológicos en la materia, a los requerimientos de seguridad de las personas y de sus patrimonios y a la legislación existente. Las NMX son normas de calidad y no son obligatorias (González, 2000).

Marco regulatorio de la geotermia

Antes de la reforma

En diciembre de 2013 se aprobó en México una reforma Constitucional que modificó el régimen de propiedad y el carácter de servicio público de la energía eléctrica. El artículo 27 se modificó al considerar a la transmisión y distribución de energía como las únicas funciones del servicio público y permitiendo la generación y comercialización privada de energía eléctrica.

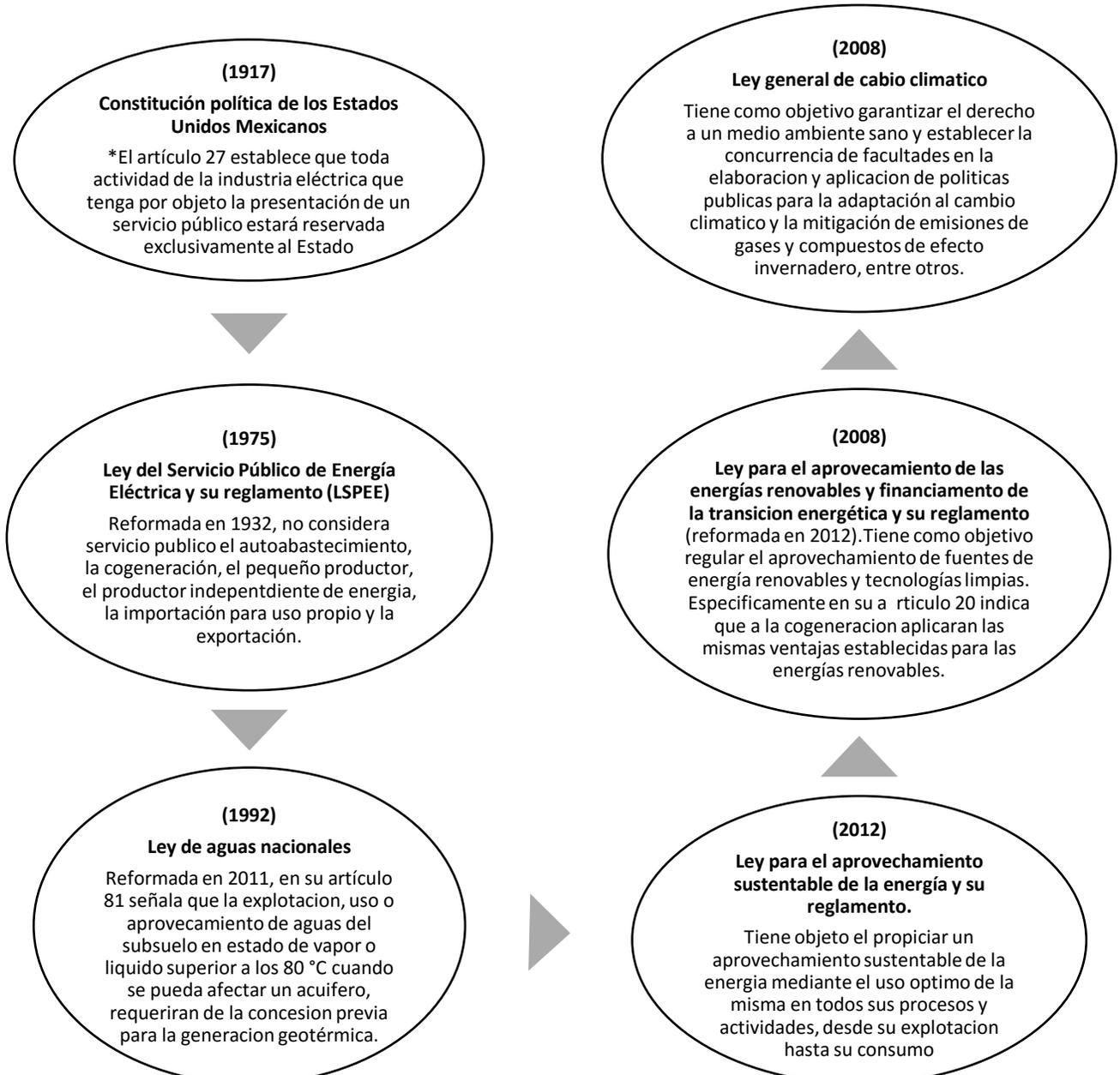


Figura 0.1 Regulación de la energía geotérmica previa a la reforma de 2013

Fuente (SENER, 2012)

Es importante presentar en qué marco regulatorio se desarrolló la energía geotérmica en México y sus diferencias con el régimen posterior a la modificación constitucional de 2013 y las leyes secundarias aprobadas en 2014. En la figura 4.1 se puede apreciar algunas leyes que regulaban, hasta antes de la última reforma, el uso de la energía geotérmica.

Recursos naturales en la constitución política de los Estados Unidos Mexicanos

En el artículo 27 de la constitución política de los Estados Unidos Mexicanos se establecía la naturaleza del derecho que la nación tiene sobre sus tierras y aguas, asignándole al estado la titularidad de la propiedad sobre el territorio, y la facultad de transmitir el dominio de dichos bienes a los particulares, desde el mar territorial, excepción hecha de las aguas del subsuelo que pueden ser libremente alumbradas, pero si lo exige el interés público, su extracción y utilización será reglamentada, e incluso vedada de ser necesario (Ornelas, 2008).

De esta manera el artículo 27, párrafos cuarto quinto y sexto, de la constitución política de los Estados Unidos Mexicanos, determinaban que corresponde a la nación el dominio directo de los recursos naturales de la plataforma continental, de la minería, incluyendo piedras preciosas de las salinas y yacimientos, del petróleo e hidrocarburos, así como el espacio aéreo nacional.

Sobre estos bienes nacionales, “el dominio de la nación es inalienable e imprescriptible y la explotación, el uso o el aprovechamiento de los recursos de que se trata, por los particulares o por sociedades constituidas conforme a las leyes mexicanas, no podrá realizarse sino mediante concesiones otorgadas por el Ejecutivo Federal.

Ley de aguas nacionales

Los recursos geotérmicos se encontraban comprendidos como parte de la ley de aguas nacionales consideradas como aguas con temperaturas mayores a 80°C (artículo 81 de la ley de aguas nacionales).

Estos artículos prevén que para su exploración, uso o aprovechamiento y preservar la cantidad y calidad de las aguas (Ornelas, 2008):

- El establecimiento de zonas de veda.
- La declaración de reservas de agua

El ejecutivo federal podría disponer de los recursos cuando se considere de interés público por ejemplo:

- Cuando se requiera un manejo hídrico específico para garantizar la sustentabilidad hidrológica.

- Cuando se trate de la presentación de un servicio público; se implante un programa de restauración, conservación o preservación, o bien el Estado resuelva realizar directamente la explotación de las aguas.

Cuando se controlan los aprovechamientos, en razón al deterioro en cantidad o calidad del agua o el daño a cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

Previo a la reforma energética del 2013, el artículo 81 de la ley de aguas nacionales establece: “La explotación, el uso o aprovechamiento de aguas del subsuelo en estado de vapor o con temperatura superior a ochenta grados centígrados cuando se pueda efectuar un acuífero, requerirán de la concesión previa para generación geotérmica u otros usos, además de evaluar el impacto ambiental” (Ornelas, 2008).

A su vez el reglamento de la ley de aguas nacionales en su disposición 126 ordena: “El uso de agua en estado de vapor para la generación de energía eléctrica y el uso de agua para enfriamiento se considera uso industrial”.

Normatividad en torno a la energía geotérmica

Las normas en torno a la energía geotérmica se refieren estrictamente a la generación de energía eléctrica, de la cual se encargaba exclusivamente la Comisión Federal de Electricidad y para esto la CFE debe sujetarse a las disposiciones existentes en materia de explotación de las aguas del subsuelo y desde luego a las de protección del ambiente, como principales normas tenemos las siguientes:

- NOM-001-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-003-CNA-1996, Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.
- NOM-004-CNA-1996, Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.

También en el año 2006 se publicó, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-150-SEMARNAT-2006, la cual establece especificaciones técnicas de protección ambiental que se deben seguir en la perforación y construcción de los pozos geotérmicos y así mismo prevé la protección de los mantos freáticos y cuerpos superficiales de agua.

Además se requerían de diversas autorizaciones de la Comisión Nacional de Agua:

- Para realizar obras de infraestructura hidráulica (Construcción de pozos).
- Permiso de descarga de aguas residuales (reinyección).

- Certificado de calidad del agua (para exentar el pago de derechos por la descarga de aguas residuales).
- Concesión de aprovechamiento de aguas subterráneas.
- Certificado de aprovechamiento de aguas salobres (para exentar pagos de derechos por el aprovechamiento).

Después de la reforma

Cambios en los artículos 25, 27 y 28 constitucional

Con la reforma energética, se modificaron los artículos 25,27 y 28 constitucionales

Con estas modificaciones a la constitución, ocurrirá lo que no pasaba en México desde 1938, cuando el entonces presidente Lázaro Cárdenas decretó la expropiación petrolera. El tema central de la reforma energética es la apertura del sector energético en torno a los hidrocarburos (Tabla 4.1).

Artículo 25	
Antes	Después
<p><i>... La ley alentará y protegerá la actividad económica que realicen los particulares y proveerá las condiciones para que el desenvolvimiento del sector privado contribuya al desarrollo económico nacional,...</i> <i>en los términos que establece esta Constitución</i></p>	<p><i>La competitividad se entenderá como el conjunto de condiciones necesarias para generar un mayor crecimiento económico, promoviendo la inversión y la generación de empleo.</i> <i>...promoviendo la competitividad e implementando una política nacional para el desarrollo industrial sustentable que incluya vertientes sectoriales y regionales...</i></p> <p><i>El sector público tendrá a su cargo, de manera exclusiva, las áreas estratégicas que se señalan en el artículo 28, párrafo cuarto de la Constitución, manteniendo siempre el gobierno federal la propiedad y el control sobre los organismos que en su caso se establezcan.</i></p>
Artículo 27	
Antes	Después
<p><i>... el uso o el aprovechamiento de los recursos de que se trata, por los particulares o por sociedades constituidas conforme a las leyes mexicanas, no podrá realizarse sino mediante concesiones, otorgadas por el ejecutivo federal, de acuerdo con las reglas y condiciones que establezcan las leyes.</i></p> <p><i>Tratándose del petróleo y de los carburos de</i></p>	<p><i>Tratándose de minerales radiactivos no se otorgarán concesiones. Corresponde exclusivamente a la Nación la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica; en estas actividades no se otorgarán concesiones, sin perjuicio de que el Estado pueda celebrar contratos con particulares en los términos que establezcan</i></p>

hidrógeno sólidos, líquidos o gaseosos o de minerales radioactivos, no se otorgarán concesiones ni contratos, ni subsistirán los que en su caso se hayan otorgado y la Nación llevará a cabo la explotación de esos productos, en los términos que señale la Ley Reglamentaria respectiva. Corresponde exclusivamente a la Nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la presentación de servicio público. En esta materia no se otorgaran concesiones a los particulares y la Nación aprovechara los bienes y recursos naturales que se requieran parara dichos fines.

las leyes, mismas que determinarán la forma en que los particulares podrán participar en las demás actividades de la industria eléctrica.

La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la nación, la cual, ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada... Las declaratorias correspondientes se harán por el ejecutivo en los casos y condiciones que las leyes prevean. Tratándose del petróleo y de los hidrocarburos sólidos, líquidos o gaseosos, en el subsuelo, la propiedad de la Nación es inalienable e imprescriptible y no se otorgarán concesiones. Con el propósito de obtener ingresos para el Estado que contribuyan al desarrollo de largo plazo de la Nación, ésta llevará a cabo las actividades de exploración y extracción del petróleo y demás hidrocarburos mediante asignaciones a empresas productivas del Estado o a través de contratos con éstas o con particulares, en los términos de la Ley Reglamentaria. Para cumplir con el objeto de dichas asignaciones o contratos las empresas productivas del Estado podrán contratar con particulares. En cualquier caso, los hidrocarburos en el subsuelo son propiedad de la Nación y así deberá afirmarse en las asignaciones o contratos.

Artículo 28

Antes

El Estado tendrá un banco central que será autónomo en el ejercicio de sus funciones y en su administración. Su objetivo prioritario será procurar la estabilidad del poder adquisitivo de la moneda nacional, fortaleciendo con ello la rectoría del desarrollo nacional que corresponde al Estado. Ninguna autoridad podrá ordenar al banco conceder financiamiento.

Después

...al banco conceder financiamiento. El Estado contará con un fideicomiso público denominado Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo, cuya Institución Fiduciaria será el banco central y tendrá por objeto, en los términos que establezca la ley, recibir, administrar y distribuir los ingresos derivados de las asignaciones y contratos a que se refiere el párrafo séptimo del artículo 27 de esta Constitución, con excepción de los impuestos.

El Poder Ejecutivo contará con los órganos reguladores coordinados en materia

energética, denominados Comisión Nacional de Hidrocarburos y Comisión Reguladora de Energía, en los términos que determine la ley.

El Estado contará con una Comisión Federal de Competencia Económica, que será un órgano autónomo, con personalidad jurídica y patrimonio propio, que tendrá por objeto garantizar la libre competencia y concurrencia, así como prevenir, investigar y combatir los monopolios, las prácticas monopólicas, las concentraciones y demás restricciones al funcionamiento eficiente de los mercados, en los términos que establecen esta Constitución y las leyes. La Comisión contará con las facultades necesarias para cumplir eficazmente con su objeto, entre ellas las de ordenar medidas para eliminar las barreras a la competencia y la libre concurrencia; regular el acceso a insumos esenciales, y ordenar la desincorporación de activos, derechos, partes sociales o acciones de los agentes económicos, en las proporciones necesarias para eliminar efectos anticompetitivos.

Todos los actos del proceso de selección y designación de los comisionados son inatacables.

Tabla 0.1 Cambios importantes dentro de la constitución

Las modificaciones de la constitución mostradas anteriormente permitirán que Pemex pueda asociarse con empresas privadas tanto nacionales como extranjeras. Además se permite la explotación de los hidrocarburos por empresas privadas, nacionales o extranjeras a partir de contratos de largo plazo, en donde la empresa se lleva el hidrocarburo y deja al país un pago en impuestos y regalías.

Asimismo, la reforma permite la participación privada en la generación y venta a grandes consumidores, de energía eléctrica.

Mucho se ha hablado en torno a la reforma energética especialmente a lo que se refiere al petróleo y la renta petrolera, sin embargo no todo gira en torno al petróleo también se promulgo la ley de energía geotérmica, la cual busca atraer a la iniciativa privada para invertir en nuestro país y de este modo poder explotar los recursos geotérmicos de los cuales México es muy rico en sus diferentes clasificaciones, de baja, media y alta entalpia los cuales no han sido explotados por diversas razones.

Cambios en la ley de aguas nacionales

El 29 de abril de 2014 se publicaron modificaciones a la ley de aguas nacionales en materia de explotación geotérmica que se orientan a la explotación privada del recurso, las cuales se presentan a continuación:

- Artículo 81: Los interesados en realizar trabajos de exploración con fines térmicos, deberán solicitar a "la Comisión" permiso de obra para el o los pozos exploratorios, en términos de los dispuesto por la Ley de Energía Geotérmica y su reglamento.

La explotación, uso y aprovechamiento de aguas del subsuelo, contenidas en yacimientos geotérmicos hidrotermales, requiere de concesión de agua otorgada por "la Comisión" y de autorización en materia de impacto ambiental.

Las concesiones de agua a que alude el párrafo anterior serán otorgadas de conformidad con los requisitos establecidos en la Ley de Energía Geotérmica y su reglamento. En todo caso, la dependencia ante la cual se realizarán los trámites relativos a su otorgamiento y modificación, será la que señala el artículo 2 fracción XVI de la ley de Energía geotérmica.

Como parte de los requisitos que establece la Ley de Energía Geotérmica y su Reglamento para el otorgamiento de concesiones de agua, el interesado deberá presentar a la dependencia a que alude el párrafo anterior, los estudios del yacimiento geotérmico hidrotermal que determinen su localización, extensión, características y conexión o independencia con los acuíferos adyacentes o sobreyacentes.

Los estudios y exploraciones realizados por los interesados deberán determinar la ubicación del yacimiento geotérmico hidrotermal con respecto a los acuíferos, la probable posición y configuración del límite inferior de éstos, las características de las formaciones geológicas comprendidas entre el yacimiento y los acuíferos, entre otros aspectos. Si los estudios demuestran que el yacimiento geotérmico hidrotermal y los acuíferos sobreyacentes no tienen conexión hidráulica directa, el otorgamiento de la concesión de agua por parte de "la Comisión", no estará sujeta a la disponibilidad de agua de los acuíferos ni a la normatividad relativa a las zonas reglamentadas, vedas y reservas, respectivas. "La Comisión" otorgará al solicitante, a través de la dependencia a que alude la fracción XVI del artículo 2 de la Ley de Energía Geotérmica, la concesión de agua correspondiente sobre el volumen de agua solicitado por el interesado y establecerá un programa de monitoreo a fin de identificar afectaciones negativas a la calidad del agua subterránea, a las captaciones de la misma o a la infraestructura existente derivadas de la explotación del yacimiento. Se requerirá permiso de descarga y autorización en materia de impacto ambiental cuando el agua de retorno se vierta a cuerpos receptores que sean aguas nacionales y demás bienes nacionales o cuando se trate de la disposición al subsuelo de los recortes de perforación. La reincorporación del agua de retorno al

yacimiento geotérmico hidrotermal, requiere permiso de obra para el pozo de inyección. Las concesiones de agua otorgadas por “la Comisión”, podrán ser objeto de modificación en caso de alteración de los puntos de extracción o inyección, redistribución de volúmenes, relocalización, reposición y cierre de pozos.

Ley de energía Geotérmica

La Ley de Energía Geotermia es una nueva Ley derivada de la Reforma Energética, que fue publicada el 11 de agosto de 2014 en el Diario oficial de la Federación.

Esta Ley define en su artículo 2: Agua geotérmica: Agua propiedad de la Nación, en estado líquido o de vapor que se encuentra a una temperatura aproximada o superior a 80°C en forma natural en un yacimiento geotérmico hidrotermal, con la capacidad de transportar energía en forma de calor, y que no es apta para el consumo humano;

Es decir, no considera el recurso geotérmico de temperaturas menores a los 80°C .

La ley de energía geotérmica prevé tres etapas: reconocimiento, exploración y explotación. El propósito de la etapa de reconocimiento, es determinar por medio de la observación y la exploración a través de estudios geofísicos, de geología, fotos aéreas, percepción remota, toma y análisis de muestras de rocas, muestreos geoquímicos y geohidrológicos si determinada área o territorio puede ser fuente de recursos geotérmicos para la generación de energía eléctrica o destinarla a usos diversos (SEGOB, 2014) .

También se propone otorgar registros mediante los cuales se faculte a los particulares, o las empresas publicas productivas del estado, a realizar trabajos de reconocimiento en el territorio nacional, como actividad previa a la exploración de áreas geotérmicas.

Con la finalidad de incentivar la realización de trabajos de reconocimiento que conduzcan a contar con mayor información y espacios de desarrollo de esta fuente de energía, en esta iniciativa de ley se propone un procedimiento expedito para obtener el registro de reconocimiento, el cual deberá ser resuelto por la SENER en un plazo no mayor a diez días hábiles.

La vigencia del registro será de ocho meses y dos meses antes de su conclusión el beneficiario del registro deberá presentar a la secretaria una serie de informes técnicos y financieros que permitirán a esta decidir si el titular del registro es candidato a obtener un permiso de exploración.

La realización de actividades de exploración por parte de los particulares, de la Comisión Federal de Electricidad o de las demás empresas productivas del estado, requerirá de un permiso previo otorgado por la SENER el cual tendrá una duración de tres

años, prorrogables por tres años más con una extensión de 150 Km². Asimismo, se sugiere que el permisionario buscando garantizar el respeto a la normatividad vigente, al medio ambiente, a sus compromisos financieros y metas de trabajo, así como facilitar las actividades de verificación de las autoridades competentes. La duración de la concesión para la explotación de áreas geotérmicas tendrá una vigencia de treinta años.

Los permisionarios que hayan cumplido con los términos y condiciones del título correspondiente, así como con las disposiciones de la ley, podrán participar en el procedimiento para la obtención de una concesión para explotación, según corresponda, del área geotérmica de que se trate. La anterior se traduce en un incentivo para aquellos que han invertido tiempo, recursos humanos y financieros en los trabajos de reconocimiento y de exploración en un área geotérmica determinada.

El proyecto de la ley de energía geotérmica establece una estrecha coordinación entre la SENER y la CONAGUA, con la intención de conservar la integridad de los yacimientos geotérmicos durante la etapa de explotación y contempla así mismo, mecanismos eficientes para mantener su sustentabilidad. Para esto se requirió hacer ciertas modificaciones a la ley de aguas nacionales. En la figura 4.2 se muestra el contenido de la ley de energía geotérmica y en la sección de anexos del presente trabajo se muestran los puntos más relevantes de la ley de energía geotérmica.

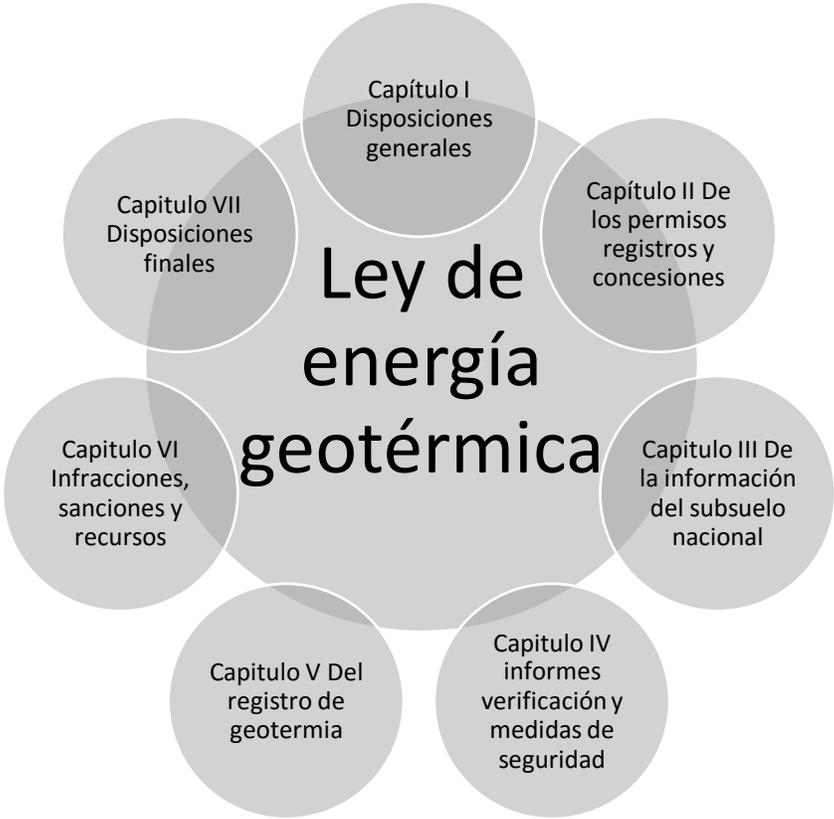


Figura 0.2 Contenido de la ley de energía geotérmica

La nueva ley establece que para otorgar la concesión de explotación de recursos geotérmicos, se incorporan algunos conceptos de carácter hídrico como son los estudios del yacimiento geotérmico hidrotermal que determinan su localización, extensión, características y conexión o independencia con los acuíferos adyacentes o sobre yacientes.

La Ley de Energía Geotérmica establece en su primer artículo que tiene por objeto regular el reconocimiento, la exploración y la explotación de recursos geotérmicos para el aprovechamiento de la energía térmica del subsuelo dentro de los límites del territorio nacional, con el fin de generar energía eléctrica o destinarla a usos diversos y que a su vez es de interés y orden público.

Con base en lo anterior, queda estipulado que la Ley de Energía Geotérmica y su reglamento, regulan la exploración y explotación de los recursos geotérmicos para usos diversos o directos.

En la tabla 4.2 se muestra una comparativa de la antigua regulación con la nueva regulación y del mismo modo en la tabla 4.3 se muestran las certidumbres y las incertidumbres del nuevo marco regulatorio.

ANTES	DESPUES
<ul style="list-style-type: none"> • El uso de aguas del subsuelo en estado de vapor o con temperatura superior a ochenta grados, requerirán de la concesión previa para generación geotérmica u otros usos. (CONAGUA) • No se tiene contemplada la baja entalpia 	<ul style="list-style-type: none"> • La SENER será la encargada de emitir las disposiciones técnicas o administrativas de carácter general. • Se proponen tres etapas reconocimiento, exploración y explotación. • Se propone dar seguridad jurídica a los inversionistas. • Se propone que los permisos para exploración tengan una vigencia de tres años, prorrogables por tres años más • No se contempla la baja entalpia

Tabla 0.2 Comparación entre la anterior y presente regulación

CERTIDUMBRES	INCERTIDUMBRES
<ul style="list-style-type: none"> • Permiso de exploración geotérmico SENER (derecho territorial) • Concesión de explotación geotérmica SENER (derecho territorial) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pago de concesión geotérmica SENER (cuanto y cuando) • Exención de pago de derechos de agua ante CONAGUA

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Concesión de agua geotérmica CONAGUA (no disponibilidad) • Requisitos generales para ser permisionario/concesionario • Estructura de nuevo mercado eléctrico • Esquema de CERs y su obligatoriedad a partir de 2018 | <ul style="list-style-type: none"> • No existen aún formatos en la CRE • Bases y tarifas del nuevo mercado • Como van a operar los certificados de energías limpias • Pago de porteo de energía • El papel que van a tener CFE y el CENACE en este nuevo marco regulatorio |
|--|---|

Fuente (Grupo Dragón, 2015)

Tabla 0.3 Certidumbres e incertidumbres de la regulación

Limitaciones regulatorias para el desarrollo de proyectos de baja entalpia

En el análisis preliminar para la regulación de energía geotérmica en México se establece que:

El subsuelo en la constitución no es regulado como recurso natural, se considera a través de sus usos para la regulación de la minería y de los hidrocarburos, así como el régimen de las aguas subterráneas; sin embargo, no es considerado como un recurso natural o ambiental, es decir en tanto su utilización como espacio, como sustento para el equilibrio de otros elementos del ecosistema o para prestar un servicio ambiental como espacio para depósito o lugar de confinamiento de residuos peligrosos o de rellenos sanitarios. (Instituto de Investigaciones Jurídicas-Comisión Federal de Electricidad, UNAM, 1997)

Tenemos que tener muy en cuenta que la energía geotérmica va desde los 25°C y en torno a este recurso no existe regulación, solo para los recursos superiores a los 150°C.

México es rico en recursos geotérmicos pero el cambio en la concepción de la propiedad en la generación eléctrica ha generado problemas en la regulación los cuales han limitado su explotación.

Actualmente los recursos geotérmicos se encontraban comprendidos como parte de la ley de aguas Nacionales considerados como aguas con temperaturas mayores a 80 ° C, cuando en realidad dichos recursos tienen diversas cualidades físicas y químicas a las aguas usadas para el consumo humano, e incluso algunos componentes de estos recursos pueden llegar a considerarse contaminantes para las aguas de consumo humano.

Experiencias regulatorias para la baja entalpia en América Latina

Algunos países de América Latina que tienen regulaciones para el aprovechamiento de la geotermia que consideran el recurso de baja entalpía son los siguientes:

- Chile: “Ley sobre concesiones de energía geotérmica”

- Perú: “Ley orgánica de recursos geotérmicos”
- Nicaragua: “Ley de Exploración y explotación de recursos geotérmicos”
- Honduras: “Ley general de la industria eléctrica”
- México: “Ley de energía geotérmica”

Ley sobre concesiones de energía geotérmica (Chile)

Esta ley se enfoca a regular:

- Las concesiones y licitaciones para la exploración o la explotación de energía geotérmica.
- Lo que sea necesario construir para la exploración o la explotación de la energía geotérmica.
- Las condiciones de seguridad que deban adoptarse en el desarrollo de las actividades geotérmicas.
- Las relaciones entre los concesionarios, el Estado, los dueños del terreno superficial, los titulares de pertenencias mineras y las partes de los contratos de operación petrolera o empresas autorizadas por ley para la exploración y explotación de hidrocarburos, y los titulares de derechos de aprovechamiento de aguas, en todo lo relacionado con la exploración o la explotación de la energía geotérmica, y las funciones del Estado relacionadas con la energía geotérmica.
- El área para la concesión no podrá exceder las cien mil hectáreas.
- El período de vigencia de la concesión de exploración de energía geotérmica tendrá una duración de dos años, contados desde la fecha en que haya entrado en vigencia el decreto de concesión.

Se entenderá por energía geotérmica aquella que se obtenga del calor natural de la tierra, que puede ser extraída del vapor, agua, gases, excluidos los hidrocarburos, o a través de fluidos inyectados artificialmente para este fin (sin limitación de la temperatura).

Ley orgánica de recursos geotérmicos (Perú)

Esta ley norma lo relativo al aprovechamiento de los recursos geotérmicos del suelo y del subsuelo del territorio nacional (El Congreso de la Republica, 2010).

Algunos puntos importantes de esta ley son los siguientes:

- Las concesiones serán declaradas por decreto supremo por el consejo de Ministros.
- Las concesiones de recursos geotérmicos tendrán una vigencia de 30 años.
- La prórroga de la concesión será otorgada por un periodo de hasta 10 años.

- Las autorizaciones de recursos geotérmicos, tendrán una vigencia de tres años, contados a partir de la publicación correspondiente en el Diario Oficial El Peruano. La autorización podrá ser prorrogada por dos años más en las condiciones que establezca el reglamento.

La exploración geotérmica está compuesta por dos fases:

- Fase I: Para la realización de estudios previos a la perforación de pozos exploratorios profundos, los cuales deberán tener una profundidad no menor de 1000 m.
- Fase II: Para la realización de perforación de pozos exploratorios profundos, que implica la perforación como mínimo de tres pozos.

El periodo solicitado para la fase I no podrá exceder los dos años y para la fase II no podrá exceder 1 año, habrá una prórroga por única ocasión por un periodo de hasta dos años.

Ley de exploración y explotación de recursos geotérmicos (Nicaragua)

Esta ley tiene por objeto fomentar y establecer las condiciones básicas que regularan las actividades de exploración y explotación de los recursos geotérmicos del país para la generación exclusiva de energía eléctrica (Asamblea nacional de la república de Nicaragua , 1998).

Algunos puntos importantes de esta ley son los siguientes:

- El Instituto Nicaragüense de Energía INE será el organismo encargado del otorgamiento de concesiones.
- Toda concesión de exploración tendrá un periodo de duración de dos años, podrá ser prorrogada por dos periodos consecutivos no mayores de un año cada uno.
- La concesión de exploración en el caso de áreas desconocidas o no declaradas de recursos geotérmicos, será hasta de 400 km², la extensión para áreas declaradas o conocidas de recursos geotérmicos no será mayor de 100 km².

La concesión de explotación de recursos geotérmicos tendrá una duración de hasta 25 años. La concesión de explotación podrá ser prorrogada por dos periodos de consecutivos de cinco años cada uno.

Ley general de la industria eléctrica (Honduras)

Esta ley tiene como objeto regular (Congreso nacional de Honduras, 2014):

- Las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio de la republica de Honduras.
- La importancia y exportación de energía eléctrica, en forma complementaria a lo establecido en los tratados internacionales sobre la materia celebrados por el gobierno de la republica
- La operación del sistema eléctrico nacional, incluyendo su relación con los sistemas eléctricos de los países vecinos, así como con el sistema eléctrico y el mercado eléctrico regional centro centroamericano.

En esta ley se especifica que la Comisión Reguladora de Energía Eléctrica (CREE), será la encargada de otorgar los permisos de estudios para la construcción de obras que vayan a utilizar recursos naturales renovables, entre estos recursos se contempla a la geotermia. Los permisos de exploración tendrán una duración máxima de 2 años, prorrogables por el mismo tiempo por una sola ocasión. Las concesiones para explotación tendrán una duración de 30 años.

El permiso de estudios otorgará a su titular, por el término de su duración, la exclusividad para realizar, dentro del área geográfica delimitada en el mismo, estudios para el aprovechamiento del recurso identificado, con propósitos de producción de energía eléctrica. También le dará el derecho de obtener la imposición de las servidumbres legales que puedan ser necesarias para la realización de los estudios.

Comparación del marco regulatorio en Latinoamérica

En la tabla 4.4 se muestra una comparación entre las diferentes leyes que rigen la geotermia en Latinoamérica. Después de hacer un análisis de las leyes de geotermia que rigen en Latinoamérica se encentra que todas carecen de una marco regulatorio claro en torno a la geotermia de baja entalpia debido a que no se establecen rangos de temperatura claros por lo que se entiende que el uso de la geotermia se enfoca solamente a la producción de energía eléctrica y esto se ve reflejado en la falta del aprovechamiento de la geotermia de baja entalpia en usos directos.

	ÁREA	TEMPERATURA	CONCESIÓN	EXPLORACIÓN
Chile	hasta 100 mil Ha	_____	_____	2 años
Perú	25-1000 Ha	alta y baja	30 años	3 años
Nicaragua	400Km2	_____	25 años	2 años
Honduras	_____	_____	30 años	2 años
México	150 Km2	+/- 80 °C	30 años	3 años

Tabla 0.4 Comparación entre las leyes de Latinoamérica

Propuestas regulatorias para ampliar el desarrollo de proyectos de baja y media entalpia

Con el objeto de conocer los alcances de la actual regulación en materia de permisos para la explotación de proyectos geotérmicos de baja y media entalpia, se solicitó a la SENER, a través de la oficina de información pública, información a este respecto. La respuesta se obtuvo en el documento DGEL/211/589/2015 emitido el día 30 de Marzo del 2015 y en resumen, detalla que los requisitos para el desarrollo de un proyecto de baja entalpia son los mismos que para un proyecto de media y alta entalpia. A continuación se transcribe la respuesta.

“Con fundamento en lo dispuesto por el artículo 8 de la Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos, los artículos 3,7. Fracción VI de la Ley de Energía Geotérmica, 3 del Reglamento de la Ley de Energía Geotérmica, los artículos 2° apartado C, fracción II y 25 fracción I del reglamento Interior de la Secretaría de Energía, se emite el presente oficio.

El pasado 19 de Marzo de 2015, se presentó ante esta Dirección General de Energías Limpias de la Subsecretaría de Planeación y Transición Energética de la SENER una solicitud de información detallada de los procedimientos y requisitos que se debe cumplir para el aprovechamiento de la energía geotérmica de baja temperatura para usos diversos, respecto de la cual se provee lo siguiente.

La Ley de Energía Geotérmica establece en su primer artículo que la misma es de interés y orden público, y tiene por objeto regular el reconocimiento, la exploración y la explotación de recursos geotérmicos para el aprovechamiento de la energía térmica del subsuelo dentro de los límites del territorio nacional, con el fin de generar energía eléctrica o destinarla a usos diversos.

Por lo anterior, debe exaltarse que la Ley de Energía Geotérmica y su reglamento, regulan la exploración y explotación de los recursos geotérmicos para usos diversos, tal como se procede a discurrir:

En términos de los artículos 2 fracción III y 28 de la Ley de Energía Geotérmica para solicitar el otorgamiento de un título de concesión para la explotación de los recursos geotérmicos de un área determinada, con el propósito de destinarlos a usos diversos, es requisito indispensable ser permisionario del área geotérmica de que se trate, por lo anterior para llevar a cabo un proyecto de aprovechamiento de recursos geotérmicos para usos diversos es requisito ser permisionario.

En tal orden de ideas, como se describe por el artículo 13 de la Ley de Energía Geotérmica para el otorgamiento de permisos de exploración, el interesado deberá presentar su solicitud ante esta dependencia, la cual deberá acompañarse de los

documentos que acrediten su capacidad jurídica, técnica y financiera para la realización de trabajos de exploración de un área determinada, y demostrar su experiencia en este ramo.

Asimismo, el interesado deberá expresar la viabilidad técnica de su proyecto y establecer un programa técnico de trabajo con metas calendarizadas, el cual deberá ser congruente con la extensión de terreno que se solicita, así como un esquema financiero que detalle la inversión que se realizará en cada etapa.

Los permisos de exploración de recursos geotérmicos para usos diversos deberán otorgarse en términos del numeral 17 de la Ley de Energía Geotérmica: tendrán una extensión de hasta 150 Km², una vigencia de tres años y podrán ser prorrogados por única vez, por tres años más.

Cabe aclarar que, dado que los usos diversos de los recursos geotérmicos pueden requerir una menor duración en la etapa de exploración, según se prescribe en el segundo párrafo del artículo 18 de la Ley de Energía Geotérmica una vez que el permisionario considere que los estudios e información obtenida en la etapa exploratoria son suficientes para determinar la existencia del recurso geotérmico que se pretenda explotar, podrá solicitar ante la Secretaría la concesión correspondiente, sin necesidad de completar el plazo de 3 años.

Agotada la etapa de exploración, habiendo cumplido con los requisitos aplicables a los permisionarios pueden solicitar una concesión de recursos geotérmicos, presentando a esta Secretaría evidencia documental y/o de campo que permita determinar que en los trabajos de explotación que se realizarán, no habrá interferencia con acuíferos adyacentes al yacimiento geotérmico.

Aclarado lo anterior, se realizará una enumeración de los requisitos señalados tanto por la Ley de Energía Geotérmica, como por su Reglamento para solicitar permisos y concesiones de recursos geotérmicos:

- a) Requisitos para otorgar permisos de exploración de recursos geotérmicos:*
- Se trate de personas físicas o morales constituidas conforme a las leyes mexicanas;*
 - Indicar domicilio para oír y recibir notificaciones ;*
 - Indicar clave del registro federal de contribuyentes, que incluya la homoclave correspondiente;*
 - Indicar el nombre de su representante legal, en su caso;*
 - Señalar la ubicación del Área Geotérmica, en su caso;*
 - Señalar los datos del Registro, Permiso o Concesión, en su caso;*
 - Estar firmada por el promoviente o por su representante legal;*
 - Acompañarse de los documentos que acrediten su capacidad jurídica, técnica y financiera;*

- *Expresar la viabilidad técnica de su proyecto y establecer un programa técnico de trabajo con metas calendarizadas, el cual deberá ser congruente con la extensión del terreno que se solicita, así como, un esquema financiero que detalle la inversión que se realizará en cada etapa;*
- *Señalar el Área Geotérmica solicitada en kilómetros cuadrados, señalando el Punto de Partida y las Coordenadas Geodésicas en un plano a escala 1:10,000, en formato digital guardado en un disco compacto,*
- *Presentar la documentación que acredite que tienen derechos de uso, goce o disfrute sobre el área geotérmica que solicita;*
- *Propuesta de programa técnico de trabajo con metas calendarizadas, el cual incluirá el número de Pozos Exploratorios Geotérmicos que pretende perforar , en su caso;*
- *Propuesta del esquema financiero que detalle al inversión que realizará, el cual deberá cumplir con lo siguiente:*
 - I. *Congruencia con las actividades de Exploración que se pretenden realizar*
 - II. *La proyección de balance general y estado de resultados a tres años*
 - III. *La proyección de flujo de efectivo y plan de liquidez a tres años, y*
 - IV. *La descripción de fuentes de financiamiento;*

El solicitante deberá adjuntar la documentación que acredite los incisos de esta fracción;

- *Los datos, en su caso, del Registro que la Secretaría le haya entregado sobre el Área Geotérmica Solicitada.*

b) Requisitos para otorgar concesiones de explotación de recursos geotérmicos:

- *Se trate de personas físicas o morales construidas conforme a las leyes mexicanas;*
- *Indicar domicilio para oír y recibir notificaciones;*
- *Indicar clave del registro federal de contribuyentes que incluya la homoclave correspondiente;*
- *Indicar el nombre de su representante legal, en su caso;*
- *Señalar la ubicación del Área Geotérmica, en su caso;*
- *Señalar los datos del Registro, Permiso o Concesión, en su caso;*
- *Estar firmada por el promovente o por su representante legal;*
- *Señalar el nombre o denominación social del solicitante y copia certificada de sus estatutos sociales;*

- *En el caso de personas morales, su objeto social se deberá referir a la exploración y explotación de recursos geotérmicos;*
- *Adjuntar planos de la localización del Área Geotérmica objeto de la solicitud de concesión, donde se especifique la superficie, medidas y colindancias;*
- *Señalar el presupuesto detallado del proyecto;*
- *Remitir documentación que acredite su capacidad jurídica, técnica, administrativa y financiera, para desarrollar, operar, mantener las instalaciones necesarias para la explotación de recursos geotérmicos;*
- *Adjuntar los cronogramas calendarizados de trabajo y financieros a realizar durante la etapa de explotación del área geotérmica, indicando un detalle cada una de las actividades por efectuar y los objetivos de las mismas;*
- *Haber obtenido y cumplido con los términos y condiciones del permiso de exploración;*
- *Pago de derechos y aquellos establecidos en las disposiciones en materia ambiental;*
- *Señalar el Área Geotérmica solicitada en kilómetros cuadrados, señalando el Punto de Partida y Coordenadas Geodésicas en un plano a escala de 1:100,000, en formato digital guardado en un disco compacto;*
- *Presentar la documentación que acredite que tienen derechos de uso, goce o disfrute sobre el Área Geotérmica que se solicita;*
- *Señalar el número de Permiso a que se refiere la solicitud de concesión;*
- *Presentar la evidencia documental y de campo que permita a la Secretaría constatar que los trabajos que se realizarán no interferirán con acuíferos adyacentes al Yacimiento Geotérmico;*
- *Presentar el programa de inversión, el cual deberá cumplir con lo siguiente:*
 - i. Congruencia con las actividades de Explotación que se pretenden realizar ;*
 - ii. La proyección de balance general y estado de resultados a cinco años;*
 - iii. La proyección de flujo de efectivo y plan de liquidez a cinco años, y*
 - iv. La descripción de fuentes de financiamientos a las que se pretende acceder;*

El solicitante deberá adjuntar la documentación que acredite los incisos de esta fracción;

- *Presentar la propuesta del programa de desarrollo de Explotación:*
 - i. Descripción de los pozos productores que se pretenden perforar, así como los métodos, técnicas y el equipo con el que se propone desarrollar el Área Geotérmica solicitada;*

- ii. *Pruebas de producción, las cuales deberán contener la medición que se realice de las toneladas de vapor por hora que se extraen de los pozos productores, en su caso;*
 - iii. *Informe de evaluación del potencial geotérmico del Área Geotérmica solicitada y predicción del comportamiento del Yacimiento Geotérmico;*
 - iv. *Información del estudio realizado en la etapa de exploración que determine la existencia del Recurso Geotérmico, y*
 - v. *Cronograma de trabajo y financiero a realizar durante la etapa de Explotación del Área geotérmica.*
- *Presentar la solicitud de Concesión de Agua Geotérmica, en su caso;*

La Secretaría evaluará las solicitudes que hayan sido aceptadas y podrá requerir al solicitante, por única vez, las aclaraciones que estime pertinentes, así como señalar las irregularidades u omisiones que deban subsanarse.

Por todo lo expuesto, se considera que han sido aclarados los requisitos para llevar a cabo proyectos de aprovechamiento de Recursos Geotérmicos para usos diversos.

En caso de requerir cualquier información relacionada con esta Secretaría en términos del artículo 40 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental remítase a la unidad de Enlace de esta Dependencia.”

Firma de responsable el Director General de Energías Limpias, el Licenciado Efraín Villanueva Arcos (SENER, Subsecretaria de Planeación y Transición Energética , 2015).

Sugerencias para la regulación de geotermia de baja entalpía

De acuerdo con la regulación actual, la explotación de un proyecto geotérmico de baja y media entalpía debe cubrir los mismos requisitos que un proyecto de media y alta entalpía, sin embargo, como se ha explicado a lo largo de este trabajo de tesis, los proyectos de baja entalpía tienen características diferentes y por ello, consideramos que no es suficiente el marco regulatorio actual, pues genera limitaciones para un amplio desarrollo de este recurso, si bien los lineamientos de la regulación ya se establecieron, ahora se deben superar los obstáculos y para esto se requiere de un apoyo especial de las autoridades para que se le permita a la geotermia competir en igualdad de condiciones con otros fuentes convencionales de energía.

Por esta razón, proponemos que deben hacerse adecuaciones a la Ley de Energía Geotérmica y su reglamento, con el objeto de ampliar el desarrollo de proyectos geotérmicos de baja entalpía. Estas adecuaciones deben ir en la siguiente dirección:

- Concesión por proyecto y no por campos geotérmicos, dado que los proyectos geotérmicos de baja y media entalpía son de menor escala y no requieren la concesión de un campo geotérmico, sería interesante evaluar la posibilidad del otorgamiento de permisos para proyectos de baja entalpía.
- Creación de una base de datos, con el objetivo de que México cuente con un inventario de los recursos geotérmicos existentes ya que este punto ha limitado la explotación de este recurso, debido a que se carece del conocimiento del potencial con el que México cuenta, gran parte de este conocimiento ha sido aportado por investigadores y la CFE en la década de los 80s y 90s.
- Consideración de impacto ambiental y social, es necesario la creación de un plan de acción para la implementación de proyectos con energía geotérmica, donde se informe a la ciudadanía de los impactos que traerá a la comunidad la explotación del recurso, debido a que se ha visto en innumerables ocasiones el rechazo de proyectos por parte de la ciudadanía por la falta de información, siempre buscando el desarrollo de la comunidad permitiéndoles mejores condiciones de vida.
- Destinar más apoyo al proceso de transferencia tecnológica y capacitación de personal especializado, que se encuentra en los diferentes centros de estudios del país.

Esto implicaría establecer los siguientes cambios:

En el Artículo 2 de la Ley de Energía Geotérmica:

- Definir el agua geotérmica o recurso geotérmico de baja entalpía buscando que el recurso geotérmico sea considerado como un recurso diferente del agua ante la ley, si bien es cierto que ya se estableció ante la ley una definición del recurso geotérmico no se ha dejado en claro cómo se va tratar este recurso para que no sea regulado como agua de uso industrial ya que el costo se eleva demasiado, al momento de hablar de reinyección del recurso geotérmico.
- Definir un permiso por proyecto

En el Artículo 7 de la Ley de Energía Geotérmica:

- Las atribuciones de la secretaria, con la finalidad de incentivar la creación de un departamento encargado de proveer la seguridad legal a los inversionistas de energía geotérmica.

En el Capítulo II de los registros, permisos y concesiones

- Establecer un marco para permisos de explotación de recurso geotérmico de baja entalpía.
- Por otro lado, se requiere un marco de incentivos económicos para el desarrollo de la geotermia de media y baja entalpía.

Finalmente, es necesario ampliar el tema de la reinyección debido a que actualmente se tienen muchos problemas en la actividad de la reinyección ya que para reinyectar se solicita que el agua cuente con cierta calidad y no se consideran las características del agua geotérmica y además se considera como una descarga industrial de agua residual al mismo tiempo que se cobra un alto costo por la reinyección, lo que lejos de incentivar la reinyección la frena.

Hay que aceptar que esto es un gran avance en el desarrollo de la geotermia en México sin embargo no es suficiente el avance debido a que no se especifica con claridad los puntos en torno a la geotermia de baja entalpía y no se hace ninguna distinción sobre las temperaturas de trabajo ni las magnitudes de los proyectos, otro punto importante que no se hace mención en la ley es sobre los diferentes sistemas geotérmicos que se tienen siendo los más comunes:

- Sistemas hidrotermales
- Sistemas de roca seca caliente

Es importante marcar la importancia que debe de haber en cuanto a las diferencias del marco regulatorio de estos dos sistemas, debido a que la explotación del recurso no es igual, por un lado en el sistema de roca seca caliente se perfora un pozo y se hace introduce un intercambiador de calor por el cual se hace circular un fluido que absorbe la energía térmica de la tierra y la transporta al proceso para el cual la requiramos, por otro lado en los sistemas hidrotermales estamos extrayendo el agua y/o vapor del subsuelo para nuestro proceso.

Las propuestas anteriormente mencionadas requieren principalmente de la voluntad del estado de fomentar la investigación y del desarrollo de tecnología vinculada al aprovechamiento de recursos de baja y media entalpia, la existencia de sistemas o mecanismos de evaluación de las tecnologías y que se incorporen los impactos económicos, sociales y ambientales, así como de una institución que dote de recursos humanos, financieros y legales al aprovechamiento de la energía geotérmica.

Conclusiones

México tiene una capacidad instalada de energía geotérmica de 985 MWe, sin embargo, algunos estudios estiman que el potencial geotérmico del país puede llegar a más de 9000 MWe, considerando la geotermia de alta, media y baja entalpía. La reciente reforma energética del país, promovió una reforma específica para impulsar el desarrollo de la geotermia, no sólo al cambiar el régimen de propiedad de la industria eléctrica, sino promoviendo el cambio en la Ley de Aguas Nacionales y una ley específica para la energía geotérmica.

Sin embargo, la mayor parte de los proyectos que se pretende impulsar con la reforma energética no consideran el desarrollo de la geotermia de baja y media entalpía, que tiene un potencial muy importante para el desarrollo local y regional. En esta tesis se presentó un resumen de la importancia y desarrollo de este tipo de proyectos para México.

La hipótesis original del trabajo sustentaba que México requiere un cambio regulatorio para la promoción de la geotermia de baja y mediana entalpía. En el transcurso del desarrollo de la tesis, se aprobaron cambios constitucionales y de nuevas leyes que significan un cambio al régimen de producción de la energía, en particular la energía geotérmica. Bajo esta nueva premisa, se analizaron los principales cambios en la regulación energética y su aplicación para la energía geotermia de baja y media entalpía.

Bajo este esquema se encuentra el marco regulatorio actual, el cual permite implementar los proyectos de baja y media entalpía, solicitando los permisos y concesiones pertinentes durante el proceso si así fuera el caso. La claridad de esta homologación en los permisos por parte de la Secretaría de Energía, fue un logro de esta tesis. Sin embargo, es deseable la adecuación la Ley de Energía Geotermia para explicitar las concesiones de desarrollo de la geotermia de baja y media entalpía.

Por otro lado, es importante alertar sobre algunos otros problemas del desarrollo de la energía geotérmica que es necesario promover en nuestro país:

1. Ligar la investigación científica y tecnológica con el desarrollo

Dejando de un lado la problemática de la falta de regulación, se observa otro problema igual de importante que éste, y es que la investigación que se realiza en los laboratorios de las universidades no está ligada con los objetivos del mercado energético actual, por lo tanto, se requiere que estas investigaciones no sólo se queden en documentos o artículos de investigación dentro de los centros de investigación, si no que se vean reflejados en la aplicación en campo.

2. Valorar la rentabilidad de los proyectos geotérmicos

Otro punto es que la industria geotérmica mexicana ha estado muy enfocada únicamente a la parte técnica y si deseamos proyectos en los cuales invertir para trabajar en impulsar las energías renovables es urgente visualizar a la industria bajo un balance técnico-comercial, es decir como un negocio rentable. Aun cuando la inversión de los proyectos geotérmicos puede ser alta en comparación con la energía convencional, en el mediano plazo y largo plazo, ésta es más rentable pues no implica costos en la energía primaria.

3. Las consecuencias de la reforma energética

Como punto final, se puede considerar que la reestructuración del sector y el incremento del grado de apertura a la iniciativa privada son una estrategia del Gobierno Federal que puede resultar en diversas consecuencias, y no sabemos si son positivas o negativas para la ciudadanía hasta después del transcurso de varios años de aplicar este régimen jurídico.

La limitante que tiene dicha ley en la regulación de recursos geotérmicos es que no considera recursos de baja entalpia, a pesar de que estos recursos existen en gran cantidad dentro del territorio nacional, sin embargo en la medida de que las empresas visualicen a la energía geotérmica como un negocio rentable se deberán definir las reglas para que los objetivos de dicha reforma se alcancen.

Anexos

Conceptos más relevantes de la ley de energía geotérmica

Agua geotérmica: Agua en estado líquido o de vapor que se encuentra a una temperatura aproximada o superior a 80°C en forma natural en un yacimiento geotérmico hidrotermal, con la capacidad de transportar energía en forma de calor, y que no es apta para el consumo humano.

Área geotérmica: Área delimitada en superficie y proyectada en el subsuelo con potencial de explotación del recurso geotérmico.

Concesión: Acto jurídico por el cual el Estado a través de la Secretaría, confiere a un particular a la CFE o a las empresas productivas del estado, los derechos para la explotación de los recursos geotérmicos de un área determinada, conforme a lo dispuesto en esta ley, su reglamento y demás disposiciones aplicables, con el propósito de generar energía eléctrica o para destinarla a usos diversos.

Concesionario: Titular de una concesión para explotar un área geotérmica.

Exploración: Conjunto de actividades que contribuyen al conocimiento geológico geofísico y geoquímico del área geotérmica así como las obras y trabajos realizados en superficie y en el subsuelo con el objeto de corroborar la existencia del recurso geotérmico y delimitar el área geotérmica de las cuales se encuentra el acondicionamiento del sitio, obras civiles asociadas, montaje de maquinaria y equipo, perforación y terminación de pozos exploratorios geotérmicos.

Explotación: Conjunto de actividades con fines comerciales, que permiten obtener energía eléctrica y otros aprovechamientos por medio del calor del subsuelo, a través de la perforación de pozos, o cualquier otro medio, incluyendo las demás obras necesarias para la construcción, extracción, puesta en marcha producción y transformación de recurso geotérmico.

Manejo sustentable del recurso geotérmico: Aquel que permite que la explotación del recurso se desarrolle de forma tal que procure la preservación del contenido energético del mismo y su carácter renovable.

Permisionario: Titular de un permiso para explorar un área geotérmica.

Permiso: Acto jurídico por el cual el Estado, a través de la Secretaría, reconoce el derecho de un particular, de la CFE o las empresas productivas del Estado, para explorar un área geotérmica.

Pozo exploratorio geotérmico: perforación del subsuelo con fines exploratorios bajo los lineamientos que señale la presente ley su reglamento y demás disposiciones aplicables, y

que tenga como propósito obtener información térmica, litológica y geoquímica y de una posible área geotérmica.

Reconocimiento: Actividad que permite determinar, por medio de la observación y la exploración a través de estudios de geología por fotos aéreas, percepción remota, toma y análisis de muestras de rocas, muestreo geoquímico, y geo hidrológico, entre otras, si determinada área o territorio puede ser fuente de recursos geotérmicos para la generación de energía eléctrica o destinarla a usos diversos.

Recurso geotérmico: Recurso renovable asociado al calor natural de subsuelo que puede ser utilizado para la generación de energía eléctrica, o bien para destinarla a usos diversos.

Registro: Acto jurídico mediante el cual el Estado, a través de la Secretaria, otorga a un particular a la comisión federal de electricidad o a las empresas productivas del Estado, la facultad de realizar actividades de reconocimiento en el territorio nacional, como trabajos preparatorios para una fase posterior de exploración de recursos geotérmicos.

Yacimiento geotérmico: La zona del subsuelo compuesta por rocas calientes con fluidos naturales, cuya energía térmica puede ser económicamente explotada para generar energía eléctrica o en diversas aplicaciones directas.

Yacimiento geotérmico hidrotermal: Formación geológica convencionalmente delimitada en extensión superficial, profundidad y espesor que contiene agua geotérmica a alta presión y temperatura aproximada o mayor a 80 °C, confinados por una capa sello impermeable y almacenados en un medio poroso o fracturado.

Puntos importantes de la NOM 150 SEMARNAT

Definiciones

Barita: Mineral cristalino e incoloro de sulfato de bario. Entre otros usos, es un aditivo pesado para lodos de perforación que incrementa la densidad de los mismos

Bentonita sódica: Arcilla plástica que contiene principalmente sílice coloidal, caracterizada por la propiedad de aumentar varias veces su volumen al ponerse en contacto con el agua.

Campo geotérmico: Área delimitada por los pozos geotérmicos exploratorios y que corresponde a la extensión del yacimiento por explotar.

Campamento: Inmueble constituido por casas de campaña, trailers portátiles o casetas acondicionadas para funciones de dormitorio de personal, comedor, servicio médico, talleres, sanitarios, almacenamiento de combustible y equipos, que sirven de apoyo a la exploración y perforación de pozos geotérmicos.

Construcción: Todas aquellas actividades asociadas a la perforación de un pozo geotérmico exploratorio, que incluyen: acondicionamiento del sitio obras civiles, montaje de maquinaria y equipo y la propia perforación y terminación del pozo.

Equipos de perforación: Maquinaria para perforar o dar mantenimiento a pozos geotérmicos.

Evaluación preliminar del pozo geotérmico: Actividad que se desarrolla posterior a la perforación del pozo geotérmico, y tiene como objetivo conocer la producción y características de los fluidos obtenidos para determinar la factibilidad de producción del yacimiento.

Fluido geotérmico: Mezcla extraída de los pozos geotérmicos compuesta por agua y vapor, así como por sales y gases incondensables como el bióxido de carbono y ácido sulfhídrico.

Fluido de perforación: Líquido de propiedades fisicoquímicas controladas, compuesto por agua, agua con bentonita sódica o barita, aire, aire con espumantes o lodos orgánicos, que entre otras funciones, tiene la de acarrear los recortes de perforación, lubricar la barrena de perforación limpiar y acondicionar el agujero del pozo y contrarrestar la presión del yacimiento.

Geotermia: Fuente de energía renovable relacionada con volcanes, géiseres, aguas termales y zonas tectónicas. La energía geotérmica es el calor interno que se genera a partir de la actividad geológica de la Tierra, que se manifiesta al ascender a la superficie en forma de agua o vapor.

Impermeabilización: Actividad que se realiza para evitar la infiltración en el subsuelo de materiales o residuos que pudieran contaminarlo.

Lona plastificada: Cubierta empleada para impermeabilizar el terreno susceptible de ser contaminado con motivo de las actividades de perforación de pozos.

Nivel freático: Nivel superior de la zona saturada de la formación, en el cual el agua contenida en los poros se encuentra sometida a la presión atmosférica.

Perforación de pozos: Conjunto de actividades necesarias a desarrollar en un lugar en un lugar específico para la obtención de información geológica y extracción de vapor geotérmico, a través de la construcción de pozos.

Plataforma de perforación: Área para la instalación y operación de un equipo de perforación de pozos con los accesorios y maniobras correspondientes.

Pozo geotérmico: Instalación que mediante la perforación que se hace en el subsuelo, tiene como propósito obtener información geológica y extracción de vapor.

Presa de lodos: Fosa que se hace cerca de la plataforma, con objeto de almacenar temporalmente los lodos y recortes obtenidos durante la perforación.

Recortes de perforación: Fragmentos de roca que se obtienen en el proceso de perforación.

Rehabilitación de pozos: Conjunto de actividades que se ejecuten en un pozo, encaminadas a corregir deficiencias en el funcionamiento del mismo y cuya finalidad es mejorar el caudal de explotación respecto a la condición inicial que se registraba antes de los trabajos y prolongar su vida útil.

Restauración del suelo: Conjunto de actividades tendientes al restablecimiento de las condiciones que conlleven a recuperar las características fisicoquímicas del suelo del área afectada, para igualarlas a las de áreas adyacentes al momento de iniciar las actividades de restauración, por medio del establecimiento de una cobertura vegetal del sitio, y si es necesario por medio de la realización de obras de ingeniería ambiental.

Responsable: El organismo público establecido en los artículos 1 y 3 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, que en sus actividades perfora pozos geotérmicos para exploración, que se ubiquen en zonas agrícolas, ganaderas y eriales, fuera de Áreas Naturales Protegidas y terrenos forestales, y realice la evaluación preliminar de los mismos.

Silenciador centrífugo: Cilindro metálico usado para mitigar el ruido generado por la velocidad de la mezcla (agua- vapor) y separar centrífugamente el agua del vapor.

Taponar: Trabajos necesarios para aislar las formaciones atravesadas durante la perforación, de tal manera que se eviten invasiones de fluidos indeseables o

manifestaciones de vapor en la superficie que puedan provocar un incidente. Asimismo es la operación de sellado de un pozo antes de su abandono formal.

Tubería de descarga: Tubería metálica por donde fluye la mezcla (agua-vapor) hasta el silenciador centrífugo, permitiendo la medición de vapor.

Vertedor: Dispositivo metálico donde el silenciador descarga el agua separada y permite cuantificar el caudal de la misma

Zona agrícola: Área con uso de suelo definida como agrícola o bien que se utiliza para el cultivo de especies vegetales para consumo humano o de animales domésticos, aunque no se encuentre cultivada en el momento en que se inicien los trabajos de perforación del pozo. Se incluyen superficies de riego temporal.

Zona de protección: Área que delimita el desarrollo de las actividades productivas de la geotermia y que se establece para la protección de las comunidades y el ambiente.

Zona ganadera: Área de pastizales dedicada a la cría de ganado.

Zona erial: Área despoblada de flora y fauna original, que ha perdido la mayor parte del suelo fértil y ha dejado de cumplir su función reguladora del régimen hídrico.

Especificaciones

En esta sección se presentan las disposiciones generales para la construcción de un campo geotérmico se tocan puntos como los señalamientos restrictivos y preventivos, como presentar los planes de desarrollo, materiales, dimensiones, infraestructura entre otros

Procedimiento de evaluación de la conformidad

En esta sección se determina el grado de cumplimiento de la norma, donde se llevan a cabo diversas actividades como:

- Procedimientos de muestreo
- Pruebas
- Calibración
- Certificación
- Verificación

Para la Evaluación de la Conformidad de las Normas Oficiales Mexicanas, competencia de la Secretaría de Economía, los agentes evaluadores de la conformidad, deben estar Acreditados y Aprobados (SE, 2015).

Puntos importantes del reglamento de energía geotérmica

Concesión de agua geotérmica: La concesión que otorga la Comisión Nacional de Agua para la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas del subsuelo contenidas en Yacimientos Geotérmicos Hidrotermales.

Coordenadas Geodésicas: Las coordenadas obtenidas según los lineamientos de geotermia en materia de topografía.

Ley: La ley de energía geotérmica.

Lineamiento de Geotermia: Las disposiciones de carácter general y normas oficiales mexicanas que expida la Secretaría, la Comisión Nacional del Agua o cualquier autoridad federal en el ámbito de su competencia en materia de energía geotérmica.

Posicionamiento: El levantamiento topográfico que sirva para establecer coordenadas Geodésicas y de proyección a un punto o área que cumpla con los requerimientos aplicables previstos en los lineamientos de Geotermia en materia de topografía.

Punto de partida: Punto fijo en el terreno a partir del cual se definirá el polígono de un área geotérmica en Coordenadas Geodésicas.

Registro de Geotermia: Sistema de asientos y anotaciones registrales de carácter público a cargo de la Secretaría en términos del artículo 60 de la Ley.

Usos diversos: Aquellos usos en los que se puede aprovechar la energía geotérmica diferente a la generación de energía eléctrica, entre los que se encuentran, la calefacción urbana o de invernaderos, elaboración de conservas, secado de productos agrícolas o industriales, deshielo, lavado de lana y tintes, refrigeración por absorción o por absorción con amoníaco, extracción de sustancias químicas, destilación de agua dulce, recuperación de metales, evaporación de soluciones concentradas, fabricación de pulpa de papel, los cuales deberán señalarse en el título de Concesión que al efecto otorgue la Secretaría.

Bibliografía

- Wikipedia. (2010). Recuperado el julio de 2015, de [https://en.wikipedia.org/wiki/Clepsydra_Geyser#/media/File:ClepsydraGeyserMarler1961\(2\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Clepsydra_Geyser#/media/File:ClepsydraGeyserMarler1961(2).jpg)
- Asamblea nacional de la república de Nicaragua . (1998). *Ley No.443*. Managua : La Gaceta Diario Oficial .
- Aviña, J. H. (2012). *Historia de la geotermia*. Facultad de ingeniería . México: UNAM.
- Aviña, J. H. (2012). *Historia de la geotermia*. Facultad de ingeniería. México: UNAM.
- Aviña, J. H. (2012). *Tipos de centrales geotermoeléctricas*. Universidad Nacional Autónoma México, Facultad de Ingeniería, México.
- Bertani, R. (2010). Geothermal Power Generation in the World 2005-2010 Update Report. Bali, Indonesia.
- Castillo, B. A. (20 de agosto de 2014). *TODoS@CICESE comonicamos ciencia*. Obtenido de El mar de Cortés profundo: http://todos.cicese.mx/sitio/noticia.php?n=328#.VBnG_Fck5XM
- Chamorro, C. C. (2009). *Energía eléctrica a partir de recursos geotérmicos. Estado actual y perspectivas a nivel mundial*. Universidad de Valladolid, Ingeniería Energética y Fluidomecánica. Valladolid: Tecnología energética.
- cienciageografica. (08 de 2011). *El vulcanismo y partes del volcán*. Obtenido de <http://cienciageografica.carpetapedagogica.com/2011/08/el-vulcanismo.html>
- Congreso nacional de Honduras. (2014). *DIARIO OFICIAL DE LA REPUBLICA DE HONDURAS*. Tegucigalpa: LA GACETA.
- Diario Ofcial de la Federación. (2006). *NOM-030-SCFI*. México.
- Diario Ofical de la Federación . (1978). *NMX-F-090-S*. México.
- Diario Oficial . (2014). *Ley de energía geotérmica* . México.
- Diario Oficial de la Federación . (1980). *NMX-F-068-S*. México.
- Diario Oficial de la Federacion . (1987). *NMX-Z-12/1*. México.
- Diario Oficial de la Federación . (1994). *NOM-014-SSA1*. México.
- Diario Oficial de la Federación . (2004). *NOM-050-SCFI*. México .
- Diario Oficial de la Federación. (1987). *NMX-Z-12/1*. México .
- Diario Oficial de la Federación. (1993). *NOM-013-SSA1*. México.
- Diario Oficial de la Federación. (1993). *NOM-112-SSA1*. México .
- Diario Oficial de la Federación. (1993). *NOM-117-SSA1*. México.

- Diario Oficial de la Federación. (1994). *NOM-081-SEMARNAT*. México.
- Diario oficial de la federación. (2014). *Reglamento de la ley de energía geotérmica*. México Distrito Federal.
- Diario Oficial de la Fedración . (1993). *NOM-012-SSA1*. México .
- Diario Oficial de la Fedración . (2011). *NOM-002-SCFI*. México .
- Diario Oficial de la Fedración. (1993). *NOM-008-SCF1*. México .
- Dickson, M. H., & Fanelli, M. (1995). *Geothermal energy* . London: UNESCO .
- Dickson, M. H., & Fanelli, M. (1995). *Geothermal Energy* . London: UNESCO.
- El Congreso de la Republica. (2010). *Ley Orgánica de Recursos Geotérmicos*. Lima: Diario oficial Peruano.
- fuentesdeenergiatecno. (20 de agosto de 2014). *Fuentes de energía*. Obtenido de Energía geotérmica: <http://fuentesdeenergiatecno.wordpress.com/8-energia-geotermica/>
- García de la Noceda, C. (2008). *Los recursos geotermicos*. España: Enseñanza de ciencias de la Tierra.
- González, F. J. (2000). *COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS OBJETIVOS, CAMPOS DE APLICACIÓN Y REFERENCIAS DE LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS: NOM-001-SEMP-1994 Y NOM-001-SEDE-1999*. Aguascalientes .
- Grupo Dragón. (2015). *Perspectivas de desarrollo privado con la nueva Ley de la Industria Geotérmica*. Cuernavaca, Morelos .
- Hiriart, L. B., Gutierrez, N. L., Quijano, L. J., Ornelas, C. A., Espindola, S., & Hernandez, I. (2011). *Evaluación de la energía geotermica en México*. Inter-American Development Bank.
- IEA. (2010). *Renewable Energy Essentials: Geothermal*. International Energy Agency.
- IEA. (2011). *Technology Roadmap Geothermal Heat and Power*.
- iiDEA. (2014). *Reporte deshidratador geotérmico* . México: UNAM.
- iiDEA. (2014). *Propuesta MED*. México: UNAM.
- iiDEA. (2014). *Reporte ciclo CBEI*. México: UNAM.
- Instituto de in Investigaciones Juridicas-Comision Federal de Electricidad, UNAM. (1997). Análisis preliminar para la regulacion de la energía geotérmica en México, .
- instituto para la diversifcacion y ahorro de energía. (2008). *Manual de geotermia*. Madrid.
- Instituto para la diversifcacion y ahorro de energía. (2008). *Manual de geotermia*. Madrid.
- International Geothermal Association. (17 de Febrero de 2013). *International Geothermal Association* . Recuperado el agosto de 2014, de Mexico-Direct Uses: http://www.geothermal-energy.org/geothermal_energy/direct_uses/mexico.html

- ISO 2631-1. (1997). *Vibraciones de cuerpo completo*.
- Llopis, T. G., & Angulo, R. (2008). *Guía de la energía geotérmica*.
- Martínez, J. E. (2013). *Factibilidad de aprovechar la geotermia como uso directo, para la fabricación de leche en polvo*. Tesis, Facultad de ingeniería UNAM, México.
- Maya, G. R., & Gutiérrez, N. L. (diciembre de 2007). Recursos geotérmicos para generar electricidad en México. *Revista digital universitaria*, 8(12), 13.
- Neira, M. N. (2014). *Un poco de historia*. Recuperado el 7 de agosto de 2015, de Mundo Antigo: <http://unpocode-historia.blogspot.mx/2014/09/mundo-antigo-la-ciudad-antigua-el-arte.html>
- Ordaz, M. C., Flores, A. M., & Ramírez, S. G. (enero-junio de 2011). Potencial geotérmico de la República Mexicana. *Geotermia*, 24(1), 92.
- Ornelas, C. A. (2008). *Regimen juridico de los recursos geotermicos*. México: instituto de investigaciones juridicas unam.
- Pérez, G. E. (2014). *DISEÑO DE UN SISTEMA DESHIDRATADOR DE ALIMENTOS GEOTERMICO DE BAJA ENTALPIA*. México: iiDEA.
- Poder Ejecutivo Federal . (1982). *Reglamento para la protección del ambiente contra la contaminación originada por la emisión de ruido* . México: DOF.
- Salmerón, J. A. (2012). *Analisis y Diseño de una Desaladora de Agua de multiple Efecto con Recurso Geotermico de Baja Entalpía*. México, DF.: UNAM.
- Santoyo Gutierrez, E., & Torres Alvarado, I. (2010). *Escenario futuro de Explotación de la Energía Geotérmica: hacia un desarrollo sustentable*. (C. d. -UNAM, Ed.) *Revista digital universitaria*.
- SE. (21 de abril de 2015). *Secretaría de Economía* . Obtenido de Evaluación de la conformidad : <http://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/competitividad-normatividad/normalizacion/nacional/evaluacion-de-conformidad>
- SEGOB. (2014). *Iniciativa de decreto por el que se expide la ley de energía geotérmica y se adiciona y reforman diversas disposiciones de la ley de aguas nacionales*. México .
- SEMARNAT. (2006). *Diario oficial de la federación* . México D.F.
- SENER. (2012). *INICIATIVA PARA EL DESARROLLO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO*.
- SENER. (2014). *Reforma energética*. México.
- SENER, Subsecretaría de Planeación y Transición Energética . (2015). *Oficio No.DGEL/211/589//2015*.
- Universidad Politecnica de Baja California. (2011). *Evaluación de los recursos geotermicos de baja entalpia de la península de baja california, México*.

Vielma, S. M. (2013). *DISEÑO E INTEGRACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA APLICADA A PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN RESIDENCIAL*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.