



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

LA ENERGÍA GEOTÉRMICA E HIDRÁULICA EN GUATEMALA

Lester René Ramírez Alvarado

Asesorado por la Inga. Nora Leonor Elizabeth García Tobar

Guatemala, julio de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

LA ENERGÍA GEOTÉRMICA E HIDRÁULICA EN GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LESTER RENÉ RAMÍREZ ALVARADO

ASESORADO POR LA INGA. NORA LEONOR ELIZABETH GARCÍA TOBAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, JULIO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Alba Maritza Guerrero Spíndola
EXAMINADORA	Inga. Karla-María Lucas Guzmán
EXAMINADOR	Ing. César Augusto Akú Castillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

LA ENERGÍA GEOTÉRMICA E HIDRÁULICA EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 30 de enero del 2013.



Lester René Ramírez Alvarado

Guatemala, 31 de Marzo de 2014

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director de la Escuela
Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

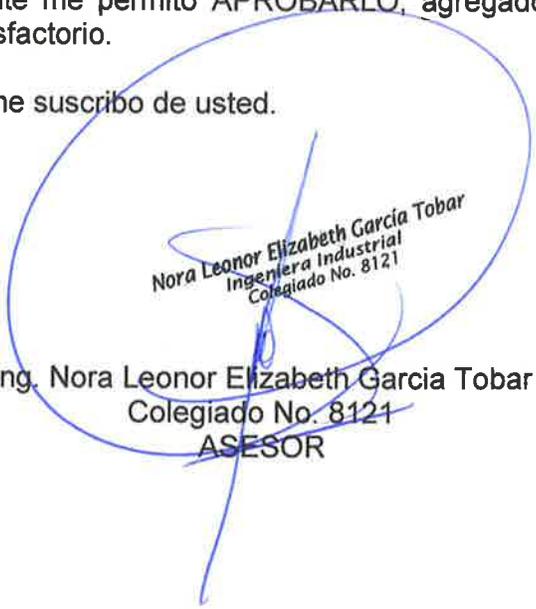
Estimado Señor Director:

Por medio de la presente informo a usted, que he asesorado y revisado el trabajo de tesis titulado LA ENERGÍA GEOTÉRMICA E HIDRÁULICA EN GUATEMALA, elaborado por el estudiante Lester René Ramírez Alvarado con carné 2008-15485, previo obtener el título de Ingeniero Industrial

Habiendo determinado que dicho trabajo cumple con los requisitos establecidos de la Facultad de Ingeniería, y reconociendo la importancia del tema. Por todo lo anterior tanto el autor como el asesor somos responsables del contenido y conclusiones del presente trabajo de tesis y en consecuencia, por medio de la presente me permito APROBARLO, agregado que lo encuentro completamente satisfactorio.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



Nora Leonor Elizabeth Garcia Tobar
Ingeniera Industrial
Colegiado No. 8121

Ing. Nora Leonor Elizabeth Garcia Tobar
Colegiado No. 8121
ASESOR



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **LA ENERGÍA GEOTÉRMICA E HIDRÁULICA EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Lester René Ramírez Alvarado**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Jaime Roberto Ruiz Díaz
Ingeniero Industrial
Col. 5182

Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, junio de 2014.

/mgp



REF.DIR.EMI.114.014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **LA ENERGÍA GEOTÉRMICA E HIDRÁULICA EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Lester René Ramírez Alvarado**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, julio de 2014.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela: **LA ENERGÍA GEOTÉRMICA E HIDRÁULICA EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Lester René Ramírez Alvarado** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, julio de 2014

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Mi madre** María Elena Alvarado de Ramírez. Por su infinito amor, comprensión y apoyo en el transcurso de mi carrera estudiantil, por ser guía y ejemplo a seguir a lo largo de mi vida.
- Mi padre** Rubelio Ramírez López. Por su apoyo económico, amor, ejemplo de disciplina y constancia.
- Mi hermana** Melani Ramírez Alvarado. Por ser fuente de alegría en mi vida y su contribución en el desarrollo de mi trabajo de graduación.
- Mi tía** Marleny Ramírez Por sus sabios consejos y paciencia. Con especial cariño.
- Mis hermanos** Jorge y Daniel Ramírez.

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser una importante influencia en mi carrera,
entre otras cosas.

Facultad de Ingeniería

Por ser una importante influencia en mi carrera,
entre otras cosas.

**Mis amigos de la
Facultad**

Cynthia Maldonado, Alejandra García, Laura
Laparra, Uzziel Cabrera y Erick Maldonado. Por
darme el privilegio de ser su amigo y su
presencia en momentos difíciles.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Energía geotérmica	1
1.1.1. Historia de la energía geotérmica	1
1.1.2. Energía geotérmica	2
1.1.3. Campo geotérmico	3
1.1.4. Clasificación de los recursos geotérmicos	5
1.1.5. Tipos de plantas geotérmica.....	7
1.1.6. Componentes de un sistema de energía geotérmica.....	11
1.1.7. La energía geotérmica en la generación de energía en Guatemala	12
1.1.8. Utilización	14
1.1.8.1. Área rural.....	15
1.1.8.2. Área urbana.....	16
1.2. Energía hidráulica.....	16
1.2.1. Historia de la energía hidráulica	16
1.2.2. Energía hidráulica.....	18
1.2.3. Tipos de energía hidráulica	18
1.2.4. Conceptos de hidroeléctricas.....	21

1.2.5.	Componentes de una hidroeléctrica.....	24
1.2.6.	Riesgos naturales de la hidroeléctrica.....	32
1.2.7.	La energía hidráulica en la generación de energía en Guatemala.....	33
1.2.8.	Utilización.....	35
1.2.8.1.	Área rural.....	35
1.2.8.2.	Área urbana.....	36
2.	POLÍTICA DE ENERGÍA HIDRÁULICA Y GEOTÉRMICA EN GUATEMALA.....	37
2.1.	Marco institucional.....	37
2.1.1.	Energía hidráulica.....	40
2.1.2.	Energía geotérmica.....	43
2.2.	Políticas públicas.....	44
2.2.1.	En la energía hidráulica.....	48
2.2.2.	En la energía geotérmica.....	52
2.3.	Ubicación en Guatemala.....	53
2.3.1.	Campos geotérmicos.....	53
2.3.2.	Plantas geotérmicas.....	54
2.3.3.	Mapas hídricos.....	56
2.3.4.	Hidroeléctricas.....	57
2.4.	Generación de energía hidráulica en Guatemala.....	63
2.5.	Generación de energía geotérmica en Guatemala.....	63
3.	DESARROLLO DEL SECTOR CIENTÍFICO TECNOLÓGICO.....	65
3.1.	Medición de la energía geotérmica.....	65
3.2.	Medición de la energía hidráulica.....	73
3.3.	Capacidades.....	77
3.3.1.	Científicas.....	77
3.3.1.1.	Geotérmicas.....	78
3.3.1.2.	Hidráulicas.....	79

3.3.2.	Tecnológicas.....	79
3.3.2.1.	Geotérmicas	80
3.3.2.2.	Hidráulicas	81
3.4.	Comunicación y colaboración.....	83
3.4.1.	A nivel nacional.....	83
3.4.1.1.	Geotérmica	85
3.4.1.2.	Hidráulica.....	85
3.4.2.	A nivel internacional.....	86
3.4.2.1.	Geotérmica	88
3.4.2.2.	Hidráulica.....	88
3.5.	Interacción entre sectores	89
3.5.1.	Productivo.....	90
3.5.1.1.	Geotérmica	90
3.5.1.2.	Hidráulica.....	91
3.5.2.	Universidades	91
3.5.2.1.	Geotérmica	93
3.5.2.2.	Hidráulica.....	93
3.5.3.	Escuelas y colegios	93
3.5.3.1.	Geotérmica	94
3.5.3.2.	Hidráulica.....	94
3.6.	Potencial geotérmico	96
3.6.1.	Disponibilidad del recurso natural.....	96
3.6.2.	Cálculo de potencial	97
3.7.	Potencial hidráulico	98
3.7.1.	Disponibilidad del recurso natural.....	98
3.7.2.	Cálculo de potencial	101
3.8.	Impacto en la matriz energética.....	102
3.8.1.	Geotérmica	104
3.8.2.	Hidráulica.....	104

3.9.	Educación y percepción pública.....	105
3.9.1.	Geotérmica.....	108
3.9.2.	Hidráulica	110
4.	DESARROLLO DEL SECTOR PRODUCTIVO GEOTÉRMICO E HÍDRICO.....	113
4.1.	Aplicación de la energía geotérmica	114
4.2.	Aplicación de la energía hidráulica.....	116
4.3.	Costos de la inversión de un proyecto energético.....	117
4.3.1.	Geotérmica.....	118
4.3.2.	Hidráulica	121
4.4.	Perspectiva del crecimiento de la energía geotérmica.....	125
4.4.1.	Proyectos realizados	125
4.4.1.1.	Gobierno.....	126
4.4.1.2.	Privados	126
4.4.2.	Proyectos de desarrollo.....	127
4.4.2.1.	Gobierno.....	127
4.4.2.2.	Privado	127
4.5.	Perspectiva de crecimiento de la energía hidráulica	129
4.5.1.	Proyectos realizados	129
4.5.1.1.	Gobierno.....	130
4.5.1.2.	Sector privado	131
4.5.2.	Proyectos en desarrollo.....	132
4.5.2.1.	Gobierno.....	134
4.5.2.2.	Sector privado	134
4.6.	Red de distribución.....	136
4.6.1.	Capacidad para venta de energía geotérmica.....	138
4.6.2.	Capacidad para venta de energía hidráulica	139
4.6.3.	Cálculo de costos por capacidad de generación ...	139
4.6.3.1.	Geotérmica.....	141

4.6.3.2.	Hidráulica.....	142
5.	ANÁLISIS AMBIENTAL POR USO DE ENERGÍA GEOTÉRMICA E HIDRÁULICA.....	145
5.1.	Ahorro energético	146
5.2.	Teoría y conceptos generales	146
5.3.	Cálculo de ahorro por uso de generación geotérmica	148
5.3.1.	Dióxido de carbono.....	148
5.3.2.	Sumideros.....	150
5.3.3.	Barriles de petróleo.....	150
5.4.	Cálculo de ahorro por uso de generación hidráulica	151
5.4.1.	Dióxido de carbono.....	151
5.4.2.	Sumideros.....	152
5.4.3.	Barriles de petróleo.....	153
5.5.	Impacto potencial geotérmico.....	153
5.5.1.	Medio físico.....	153
5.5.2.	Medio biótico.....	155
5.5.3.	Medio socioeconómico	156
5.6.	Impacto potencial hidroeléctrico	157
5.6.1.	Medio físico.....	157
5.6.2.	Medio biótico.....	160
5.6.3.	Medio socioeconómico	160
	CONCLUSIONES	163
	RECOMENDACIONES	165
	BIBLIOGRAFÍA.....	167
	APÉNDICES	169

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ilustración de un campo geotérmico.....	4
2.	Ilustración de una planta eléctrica de vapor seco	8
3.	Ilustración de una planta eléctrica de vapor <i>flash</i>	9
4.	Ilustración de una planta eléctrica de ciclo binario	10
5.	Proceso de conversión de energía geotérmica a energía eléctrica.....	12
6.	Campos geotérmicos de alta temperatura	14
7.	Proceso de conversión de energía hidráulica a energía eléctrica	23
8.	Tipos de presas.....	28
9.	Principales elementos de una turbina Francis.....	29
10.	Corte vertical del elemento giratorio de una turbina Kaplan.....	31
11.	Funcionamiento de una turbina Pelton.....	32
12.	Estructura del mercado eléctrico nacional.....	40
13.	Centrales geotérmicas en operación.....	55
14.	Hidroeléctricas operación con una potencia mayor a 5 MW	59
15.	Hidroeléctricas en operación con una potencia menor a 5 MW	60
16.	Estructura del MER	85
17.	Gráfico sobre percepción pública I.....	106
18.	Gráfico sobre percepción pública II.....	107
19.	Gráfico sobre percepción pública III.....	108
20.	Gráfico sobre percepción pública IV.....	109
21.	Gráfico de percepción pública V	110
22.	Gráfico de percepción pública VI	111
23.	Demanda histórica del potencial eléctrico	113

24.	Costos de inversión para plantas hidroeléctricas en función de la capacidad a instalar	123
25.	Participación del sector público y privado en la generación de energía eléctrica en Guatemala	130
26.	Composición de la capacidad de proyectos hidroeléctricos en desarrollo	133
27.	Territorio ocupado por los principales distribuidores en Guatemala ...	138

TABLAS

I.	Clasificación de los recursos geotérmicos	6
II.	Aplicaciones de la energía geotérmica	15
III.	Resumen cronológico de las hidroeléctricas más importantes en Guatemala	34
IV.	Campos geotérmicos en Guatemala.....	54
V.	Áreas de interés geotérmicas	54
VI.	Plantas geotérmicas en Guatemala	55
VII.	Hidroeléctricas con un aporte mayor a 5 MW y su ubicación en coordenadas UTM	58
VIII.	Hidroeléctricas con un aporte inferior a 5 MW y su ubicación en coordenadas UTM	62
IX.	Investigación de recursos de baja temperatura	68
X.	Investigación recursos geotérmicos de alta temperatura.....	73
XI.	Descripciones técnicas de hidroeléctricas registradas por la CNEE	82
XII.	Oferta académica relacionada a energías renovables.....	92
XIII.	Cuencas de Guatemala	100
XIV.	Matriz energética actual.....	103
XV.	Aplicación de los recursos geotérmicos.....	115
XVI.	Centrales geotérmicas en Guatemala.....	126

XVII.	Hidroeléctricas a cargo de EGEE.....	131
XVIII.	Hidroeléctricas en el sector privado	132
XIX.	Hidroeléctricas en fase de construcción.....	134
XX.	Hidroeléctricas que aún no iniciado construcción	135
XXI.	Hidroeléctricas en trámites administrativos	136
XXII.	Empresas distribuidoras de Guatemala y su consumo anual.....	137
XXIII.	Estimación de costos de centrales geotérmicas	142
XXIV.	Estimación de costo para centrales hidroeléctricas	143
XXV.	Cálculo de ahorro de dióxido de carbono para el año 2011 sustituyendo centrales geotérmicas por geotérmicas.....	149
XXVI.	Niveles de ruido por el uso de equipo y maquinaria en la fase constructiva	158

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
C	Costo del capital
dBA	Decibelios
CO₂	Dióxido de carbono
\$	Dólar
USD/kW	Dólar de Estados Unidos por kilovatio
° C	Grados Celsius
°	Grado sexagesimal
J	Joule
kg	Kilogramo
kg/kW	Kilogramo por kilovatio
km²	Kilómetro cuadrado
kWh	Kilovatio hora
kW	Kilovatio o kilowatt
e	Logaritmo natural
>	Mayor que
MW	Megavatio
<	Menor que
m	Metro
m³	Metro cúbico
%	Porcentaje
P	Potencia

GLOSARIO

Adjudicatarios	Persona individual o jurídica a quien el MEM otorga una autorización para el desarrollo de las obras de transporte y distribución de energía eléctrica, está sujeto al régimen de obligaciones y derechos que establece la ley.
Caldera	Máquina diseñada para generar vapor, el cual se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente está en estado líquido, se calienta y cambia su fase.
Capa freática	Acumulación de aguas subterráneas que se encuentran a poca profundidad respecto el nivel del suelo.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica, ente encargado de regular el sector eléctrico guatemalteco.
Comercializadores	Es la persona individual o jurídica cuya actividad consiste en comprar y vender bloques de energía con carácter de intermediación y sin participación en la generación, transporte, distribución y consumo

Distribuidores	Es la persona individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica.
Erosión	Lavamiento de los minerales de una superficie.
Fauna	Conjunto de especies animales que habitan un área determinada.
Flora	Conjunto de plantas que pueblan un área determinada.
Generador	Persona individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica, que comercializa total o parcialmente su producción de electricidad. Dispositivo eléctrico que permite convertir energía mecánica en eléctrica.
Geomorfología	Ciencia que estudia la forma de la superficie terrestre.
Grabens	Es una fosa tectónica limitada en ambos lados por fallas paralelas levantadas.
Grandes usuarios	Es aquel cuya demanda de potencia excede al límite estipulado en el reglamento de la Ley General de Electricidad

Isobutano	Fluido de trabajo en una planta de ciclo binario, se utiliza por tener un punto de ebullición relativamente bajo.
MEM	Ministerio de Energía y Minias, institución rectora de los recursos energéticos y mineros en Guatemala.
Meteórico	Término utilizado para indicar que algo es de origen natural.
Parque eléctrico	Referente a la matriz energética.
Somero	Indica que esta sobre una superficie.
Sostenibilidad	Indica que un sistema es capaz de retribuir el daño que causa al medio ambiente.
Talud	Área superficial caracterizada por tener un determinado grado de inclinación.
Tobera	Dispositivo que permite convertir la presión y la energía térmica de un fluido en energía cinética.
Transportista	Es la persona individual o jurídica, poseedora de instalaciones destinadas a realizar la actividad de transmisión y transformación de electricidad.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación busca dotar al lector de los conceptos relacionados a la energía geotérmica e hidráulica y la forma en que se han desarrollado en Guatemala. Aborda la temática con una breve descripción de las políticas energéticas tomadas por el Gobierno, y las políticas que el Estado de Guatemala deberá impulsar en relación con las energías renovables y su impacto en el desarrollo económico y social en el bienestar de la sociedad guatemalteca.

Para que la sociedad guatemalteca logre el desarrollo del sector científico tecnológico en el área energética y que además logre un indicador competitivo para la producción de bienes fabriles, es de suma importancia que existan políticas de Estado, relacionadas a la implementación de proyectos de generación de energía verde, provenientes de generadoras de tipo geotérmica e hidráulica, en el particular caso la matriz de producción energética actual, se observar que las generadoras de este tipo son un porcentaje minoritario y la forma en que sectores económicos, de investigación y desarrollo crecen en la aéreas de producción energía no renovable es hasta un punto alarmante, polivalente no porque el costo de producción, sino por la facilidad de la implementación de generadoras que funcionan por combustión.

Por otra parte, las aplicaciones, perspectiva de crecimiento, red de distribución y costos asociados a un proyecto que involucra una planta de generación eléctrica, son hasta algún momento planificables.

Finalmente se aborda el tema del impacto ambiental provocado por la instalación de centrales eléctricas, en la cual se hace una comparación para mostrar al lector un contraste en función de fuentes de energía renovable y fuentes que utilizan combustibles fósiles.

OBJETIVOS

General

Documentar la información en relación con la energía geotérmica e hidráulica en Guatemala.

Específicos

1. Indagar sobre el desarrollo histórico de la energía geotérmica e hidráulica en Guatemala y a la vez conceptualizar temas de vital importancia dentro del objeto de estudio.
2. Conocer las políticas públicas de energía hidráulica y geotérmica en Guatemala.
3. Conocer el sector científico tecnológico para la generación eléctrica de la energía geotérmica e hidráulica en Guatemala.
4. Documentar la información sobre proyectos energéticos provenientes de energía geotérmica e hidráulica, así como el potencial energético de la energía renovable y su impacto en la matriz energética.
5. Cuantificar el impacto ambiental de la energía geotérmica e hidráulica.

INTRODUCCIÓN

La investigación documental sobre la energía hidráulica y geotérmica surge con el propósito de cimentar las bases para futuras investigaciones en relación al tema, dado que si bien existe una gran cantidad de proyectos e información sobre estos, hasta la fecha no existía un documento que recopilara de manera ordenada y sistemática información sobre temas de gran trascendencia relacionados a dichas fuentes energéticas.

Los temas abordados son los antecedentes de la energía geotérmica e hidráulica y de la electrificación en Guatemala, políticas manejadas actualmente por el Gobierno para fomentar el desarrollo de energías renovables, el desarrollo del sector científico tecnológico, desarrollo del sector productivo y el impacto ambiental que conlleva el desarrollo de proyectos hidroeléctricos y plantas geotérmicas.

El documento pretende mostrar al lector la forma en que se genera la energía geotérmica e hidráulica en Guatemala, sin embargo, el alcance de la investigación abarca un período que comprende desde los inicios de la electrificación hasta el 2013.

Dado que el enfoque de la investigación es documental, las fuentes consultadas para su realización comprende desde artículos de periódico hasta tesis a nivel de maestría relacionadas a fuentes energéticas, así también se consultó a diferentes entidades que tienen una relación directa o indirecta que proporcionaron información valiosa que se espera sea de utilidad para el lector.

1. ANTECEDENTES

Para tener una perspectiva clara para la futura explotación de los recursos renovables, ya sea energía geotérmica o hidráulica, es de vital importancia conocer como se han desarrollado estos en Guatemala, así pues, el conocimiento de esta información permitirá conocer un punto de partida y hacia dónde se va.

1.1. Energía geotérmica

El aprovechamiento del potencial geotérmico en Guatemala ha avanzado lentamente a lo largo de los años. Actualmente, el país aún cuenta con un gran potencial sin ser utilizado, en consecuencia tiene una participación baja en la matriz energética del país.

1.1.1. Historia de la energía geotérmica

El descubrimiento de la energía geotérmica como fuente para generar energía eléctrica se le atribuye a los italianos, pues ellos decidieron conectar un generador a una máquina de vapor accionada por el vapor natural emanado de un campo geotérmico.

El éxito de esta operación fue tan grande que en 1913 condujo a la instalación de la primera planta eléctrica en los campos de Larderello, con una capacidad de 250kW. Actualmente dicha planta aún se encuentra en funcionamiento con una capacidad de 405kW.

En Guatemala, el avance del aprovechamiento de la energía geotérmica como fuente de generación de energía eléctrica ha sido relativamente lento en comparación a otros países.

No fue sino hasta en 1982 que se iniciaron los primeros esfuerzos para identificar zonas de interés geotérmico, se llevaron investigaciones muy completas sobre las manifestaciones termales sobre la superficie del país. Dicho esfuerzo fue llevado a cabo por el INDE y la organización latinoamericana de energía. Cabe destacar que el INDE es la institución que se ha encargado de identificar gran parte del potencial geotérmico de la nación.

Desde que se identificaron las regiones geotérmicas cuyo potencial era lo suficientemente grande para la instalación de una planta eléctrica, únicamente se han construido dos hasta la fecha, estas son la planta de Zunil cuyo propietario es ORMAT Industries Inc. y la planta de Calderas cuyo administrador es el INDE.

De hecho el potencial geotérmico aprovechado es aproximadamente el 5 %. A pesar de que la contribución de la energía geotérmica a la matriz energética ha sido poca en comparación a otras fuentes de energía renovable, esta no es despreciable, inclusive actualmente existen empresas licitadoras buscando realizar estudios de prefactibilidad para la construcción de centrales geotérmicas.

1.1.2. Energía geotérmica

Su nombre proviene del “geo” y “termos”, que significa “tierra” y “calor” respectivamente, en consecuencia es la energía que proviene del calor interno del planeta.

La energía geotérmica es la que el planeta transmite desde sus capas internas hasta la parte más externa de la corteza terrestre, a medida que esta energía fluye hacia la superficie, esta incrementa considerablemente su temperatura. Es posible identificar la manifestación natural de esta energía a través geiseres, fumarolas, volcanes e incluso aguas termales. Por ello ha surgido una nueva ciencia conocida como geotermia, cuyo propósito es el aprovechamiento de la energía calorífica del interior de la tierra, en condiciones que hagan de este fenómeno natural un recurso energético factible.

Las energías renovables se caracterizan porque el recurso utilizado se restablece de manera natural para un uso cíclico. La energía geotérmica difiere un poco en relación a las otras energías renovables, dado que el calor interno de la tierra no es infinito, este se pierde conforme transcurre el tiempo, pero dado que el enfriamiento interno del planeta es de unos 130 °C cada mil millones de años aproximadamente, en términos de una escala humana se considera renovable.

1.1.3. Campo geotérmico

Un campo geotérmico es una extensión de un área geográfica en la cual es posible el aprovechamiento de la energía geotérmica de manera económica. Para ello, dichos terrenos deben tener determinadas características, que son:

- Fuente de calor: energía térmica que provoca altas temperaturas en el interior de la corteza.
- Estrato de roca permeable, yacimiento o también conocido como reservorio: son los sedimentos que contiene el fluido que se hará subir a la superficie, estos también se pueden presentar en forma de agua

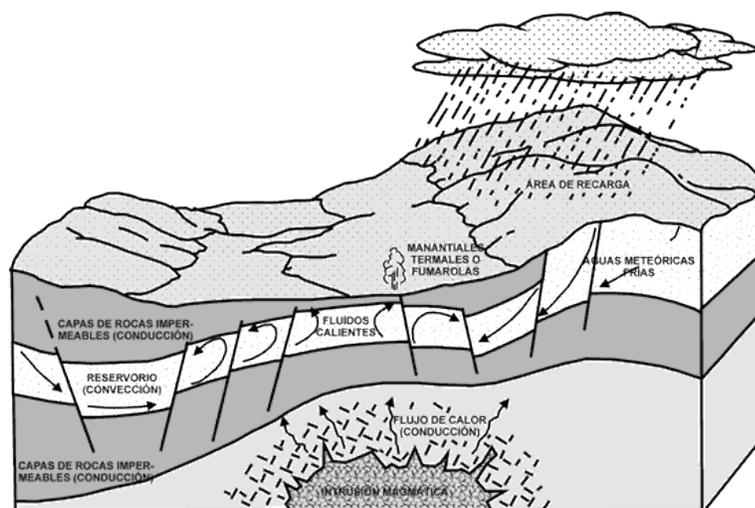
caliente, agua de manera exclusiva e incluso no puede contener fluido alguno.

- Capa sello o capa confinante: es una corteza impermeable que impide que haya fugas del fluido extraído de la roca permeable.

Si bien las tres características mencionadas anteriormente permiten el aprovechamiento de la energía geotérmica, existen otras consideradas secundarias por la importancia que tienen para su explotación, estas son:

- Área de recarga: permite reabastecer al sistema de energía geotérmica nuevamente de fluidos. Estos pueden ser naturales a través de la lluvia o artificiales a través de inyección de agua al área de rocas permeables.
- Reservorio: permiten la circulación de fluidos
- Conductor de calor: medio que permite transferir el calor desde la fuente hacia el área de rocas permeables.

Figura 1. Ilustración de un campo geotérmico



Fuente: LLOPIS TRILLO, Guillermo. *Guía de la energía geotérmica*. p. 54.

1.1.4. Clasificación de los recursos geotérmicos

Los recursos geotérmicos tienen una gran cantidad de aplicaciones, sin embargo, estos se utilizarán acorde a la temperatura que presentan, en consecuencia no todos los campos geotérmicos tienen como finalidad la producción de energía eléctrica.

Los campos geotérmicos más abundantes y que se encuentran sobre la mayoría de la superficie terrestre son los campos de muy baja temperatura, entran dentro de ésta categoría cuando su temperatura oscila entre 0 °C y 30 °C. Casi en cualquier punto de la superficie del planeta se puede captar y aprovechar el calor almacenado en las capas superficiales del subsuelo, a una profundidad de 15 metros se considera que el terreno está a temperatura constante durante todo el año con un valor ligeramente superior a la temperatura media de la superficie durante el año.

A partir de 15 metros de profundidad, la temperatura de las rocas, que reciben el calor terrestre que remonta de las profundidades, no depende de las variaciones estacionales de temperatura, ni del clima, solo de las condiciones geológicas y geotérmicas. Por debajo de 20 metros de profundidad, la temperatura aumenta a razón de 3 °C cada 100 metros como consecuencia de lo que se conoce como gradiente geotérmico. Este gradiente geotérmico da lugar a que se encuentren mejores recursos geotérmicos a mayor profundidad.

Los yacimientos geotérmicos que entran dentro de la clasificación de baja temperatura oscilan entre 30 °C y 90 °C, pudiéndose encontrar entre 1 500 y 2 500 metros de profundidad. Haciendo referencia al gradiente geotérmico, en condiciones ideales, a una profundidad de 2 000 metros, la temperatura podría alcanzar hasta 70 °C.

A profundidades de 2 000 y 4 000 metros es posible encontrar recursos geotérmicos que oscilan entre los 90 °C y 150 °C, estos se clasifican como yacimientos de mediana temperatura. Zonas como esta se localiza donde, debido a discontinuidades y fallas, el agua puede remontar fácilmente hasta la superficie, señalando su presencia mediante aguas termales, debido a esto carecen de una capa impermeable de manera parcial sobre el acuífero para mantener el calor y la presión en el yacimiento.

Finalmente se encuentran los campos geotérmicos de alta temperatura, estos tienen una temperatura que supera los 150 °C, se localizan en zonas geográficas con gradientes geotérmicos extremadamente elevados, llegando a alcanzar razones de hasta 30 °C cada 100 metros, es decir que la temperatura se incrementa 10 veces más de lo habitual.

Estas zonas suelen coincidir con la existencia de fenómenos geológicos notables, como actividad sísmica elevada, formación de cordilleras en épocas geológicas recientes, actividad volcánica muy reciente y principalmente regiones volcánicas situadas en los bordes de las placas tectónicas. Se suelen explotar a profundidades comprendidas entre los 1 500 y 3 000 metros. Ver tabla I.

Tabla I. **Clasificación de los recursos geotérmicos**

Campo geotérmico	Temperatura en grados Celsius (°C)	Profundidad en metros (m)
Muy baja temperatura	$0 < T < 30$	$15 < \text{Profundidad} < 20$
Baja temperatura	$30 < T < 90$	$1\ 500 < \text{Profundidad} < 2\ 000$
Mediana temperatura	$90 < T < 150$	$2\ 000 < \text{Profundidad} < 4\ 000$
Alta temperatura	$T > 150$	$1\ 500 < \text{Profundidad} < 3\ 000$

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que hace tres décadas se iniciaron investigaciones en Estados Unidos para la explotación campos geotérmicos donde no existe líquido alguno en las rocas permeables, llamados yacimientos de rocas secas calientes. En estos casos la permeabilidad de la roca puede crearse artificialmente inyectando grandes volúmenes de agua a elevada presión por un pozo para producir un fluido de trabajo, es así como surgen los sistemas geotérmicos estimulados. Actualmente muchos países como Japón, Alemania, Francia e Inglaterra se han aunado al esfuerzo de explotar este tipo de recurso.

Los recursos geotérmicos pueden ser clasificado en función de diferentes criterio, ya sea tomando en consideración su contexto geológico, modo de explotación o tipo de utilización. Sin embargo, la clasificación más común es en función de la temperatura y a esta se hará referencia en este documento.

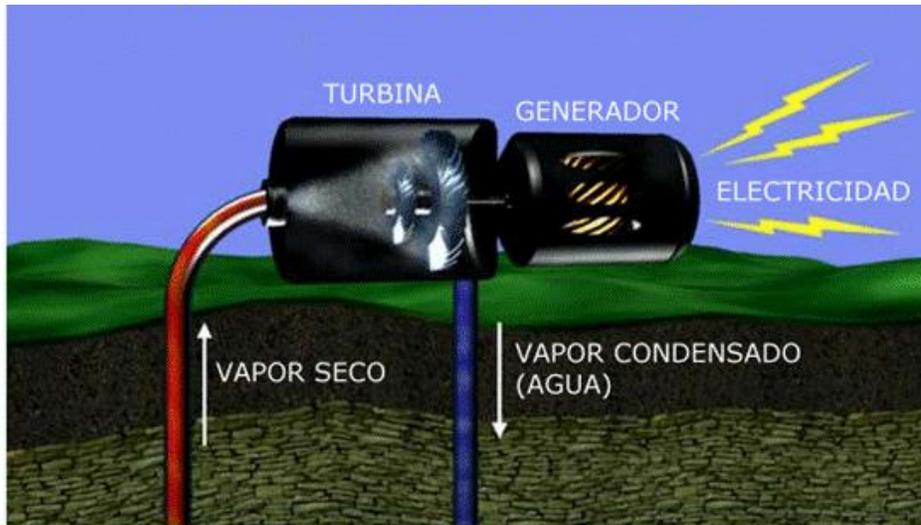
1.1.5. Tipos de plantas geotérmica

Las plantas geotérmicas se construyen en función del recurso geotérmico que haya sido descubierto. Cuando en el reservorio se dispone de vapor de agua a gran presión para alimentar una turbina y generar electricidad, se generan las mejores condiciones para una planta de vapor seco.

Este es el caso más sencillo de producción de energía eléctrica, en el que el fluido de origen geotérmico es absorbido desde el yacimiento en forma de vapor hacia la turbina a la que obliga a girar a gran velocidad, perdiendo en el proceso energía, que se traducen en pérdida paulatina de presión y temperatura, dando lugar a la condensación del vapor extraído.

Luego de utilizado el fluido este se puede liberar en la superficie o bien reincorporarlo al yacimiento de donde se sacó. Ver figura 2.

Figura 2. **Ilustración de una planta eléctrica de vapor seco**



Fuente: LLOPIS TRILLO, Guillermo. *Guía de la energía geotérmica*. p. 150.

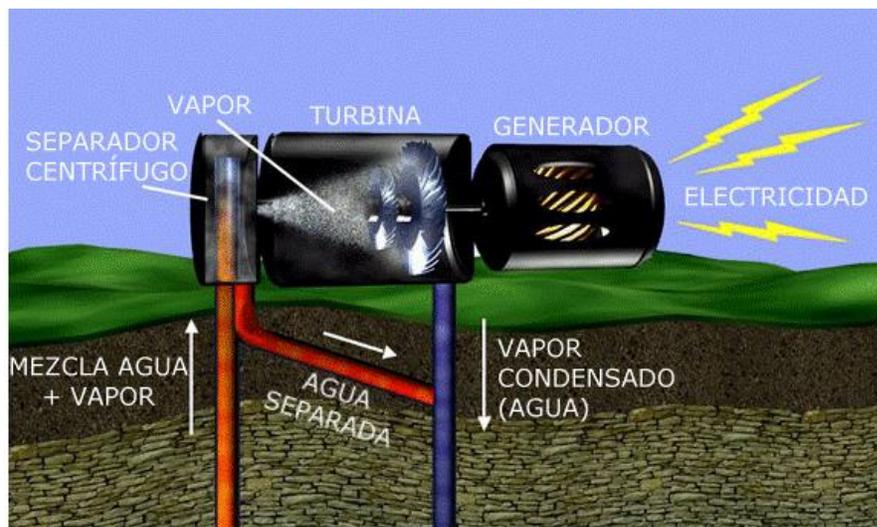
En la práctica es muy difícil encontrar fuentes geotérmicas que contengan exclusivamente vapor seco, esto contribuye a encontrar uno de los primeros inconvenientes en la explotación de la energía geotérmica. Cuando el vapor no está absolutamente seco, puede contener pequeñas gotas de agua, dichas gotas viajando a gran presión y velocidad pueden dañar los álabes de la turbina, produciendo un desgaste excesivo y en última instancia su ruptura.

Para evitar que haya gotas del fluido de trabajo cuando este se extrae, se coloca un separador, cuya función es independizar a través de fuerza centrífuga el agua del vapor, permitiendo así el paso exclusivo del vapor hacia la turbina. El sistema se conoce como planta eléctrica de vapor *flash*. Estas plantas de generación permiten mejorar la calidad del vapor, elevando el rendimiento de la turbina y ahorrando recursos económicos en el mantenimiento y operación de la maquinaria.

Cabe mencionar que también es posible conseguir el vapor a través de la quema de combustibles fósiles, sin embargo, con ello se pierde gran parte del rendimiento económico del proceso dado que se incorpora un nuevo tipo de energía. Ver figura 3.

Las dos tipos de plantas mencionadas hasta ahora se les considera de ciclo abierto, pues el fluido geotermal está en contacto directo con la maquinaria de trabajo y este una vez utilizado puede ser reinyectado al yacimiento, o bien puede ser liberado a la atmosfera. Cabe destacar que aún cuando el fluido geotermal sea agua, esta puede contener sustancias que a la hora de liberarlas al medio ambiente puede tener consecuencias al ecosistema en el cual se encuentra.

Figura 3. **Ilustración de una planta eléctrica de vapor *flash***

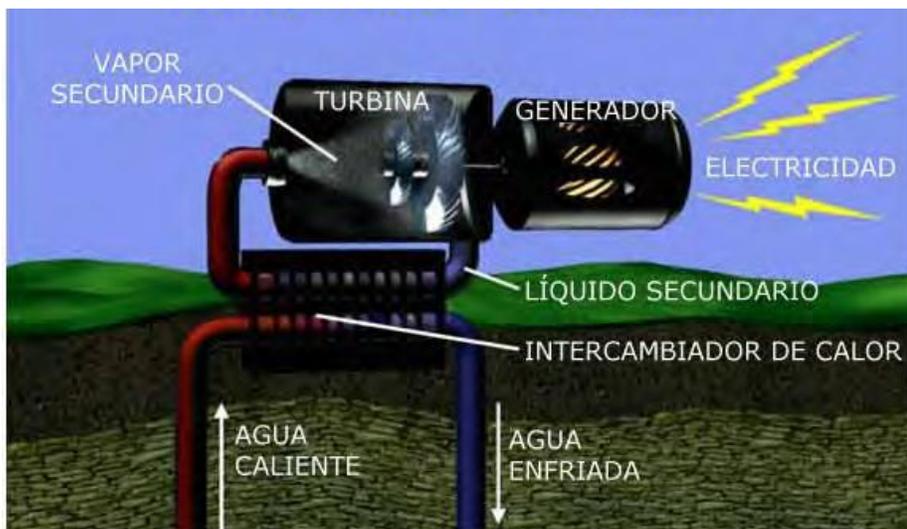


Fuente: LLOPIS TRILLO, Guillermo. *Guía de la energía geotérmica*. p. 151.

Una manera de evitar que el fluido geotermal circule por el interior de la turbina, es a través de un intercambiador de calor, esto permite cerrar el ciclo dado que el fluido geotermal se emplea para calentar un nuevo fluido de trabajo (también conocido como líquido secundario), hasta convertirlo en vapor. De esta forma se consigue mejorar el rendimiento del sistema. Sin embargo, el rendimiento general de la totalidad de la instalación se verá reducido por las evidentes pérdidas de una parte de la energía calorífica en el intercambiador de calor. Esto se conoce como ciclo binario. Ver figura 4.

El ciclo binario protege la instalación de las turbinas y se utiliza cuando el yacimiento geotérmico produce una mezcla de agua y vapor a temperaturas inferiores a las que posibilitan disponer de vapor seco.

Figura 4. **Ilustración de una planta eléctrica de ciclo binario**



Fuente: LLOPIS TRILLO, Guillermo. *Guía de la energía geotérmica*. p. 154.

Cuando la temperatura del líquido geotermal es suficientemente caliente para producir vapor seco en el fluido de trabajo, la planta funcionará de manera convencional. Sin embargo, dado que se pierde energía en el proceso de intercambio de calor de un fluido a otro, eventualmente la temperatura no basta para su funcionamiento. Por ello, en las centrales de ciclo binario son comunes las mezclas de hidrocarburos altamente volátiles, tal como el propano, butano, isobutano o isopentano como fluidos de trabajo porque sus puntos de ebullición son más bajos que los del agua.

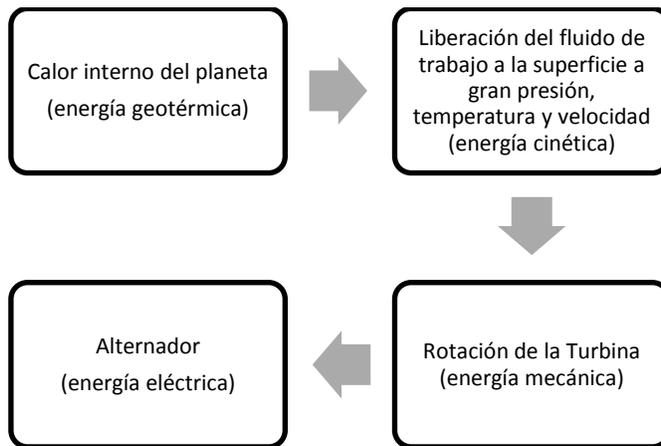
1.1.6. Componentes de un sistema de energía geotérmica

La producción de corriente alterna pasa ineludiblemente por inducir un campo electromagnético en embobinados especiales conocidos como estatores, luego se hace girar a gran velocidad otros embobinados en su interior, estos son conocidos como rotores; creando así una diferencia de potencial que constituye la corriente eléctrica. En consecuencia, el problema radica en conseguir una máquina que obligue a girar el rotor de un alternador a gran velocidad. Esta máquina se denomina turbina y todo el equipo funcionando en conjunto es conocido como turboalternador.

Para conseguir que la turbina gire, se utilizan fluidos que tengan un caudal aceptable y una presión suficiente para garantizar su continuidad en el tiempo. Una de las mejores formas de producción es a través de canalizar el vapor a gran presión de algún fluido hacia una rueda de álabes de una turbina que está conectada directamente al eje del rotor, produciendo así, energía eléctrica.

Es más que evidente que esta es una posible fuente de aplicación de la energía geotérmica, cuando proviene de un yacimiento de alta temperatura. Ver figura 5.

Figura 5. **Proceso de conversión de energía geotérmica a energía eléctrica**



Fuente: elaboración propia.

1.1.7. **La energía geotérmica en la generación de energía en Guatemala**

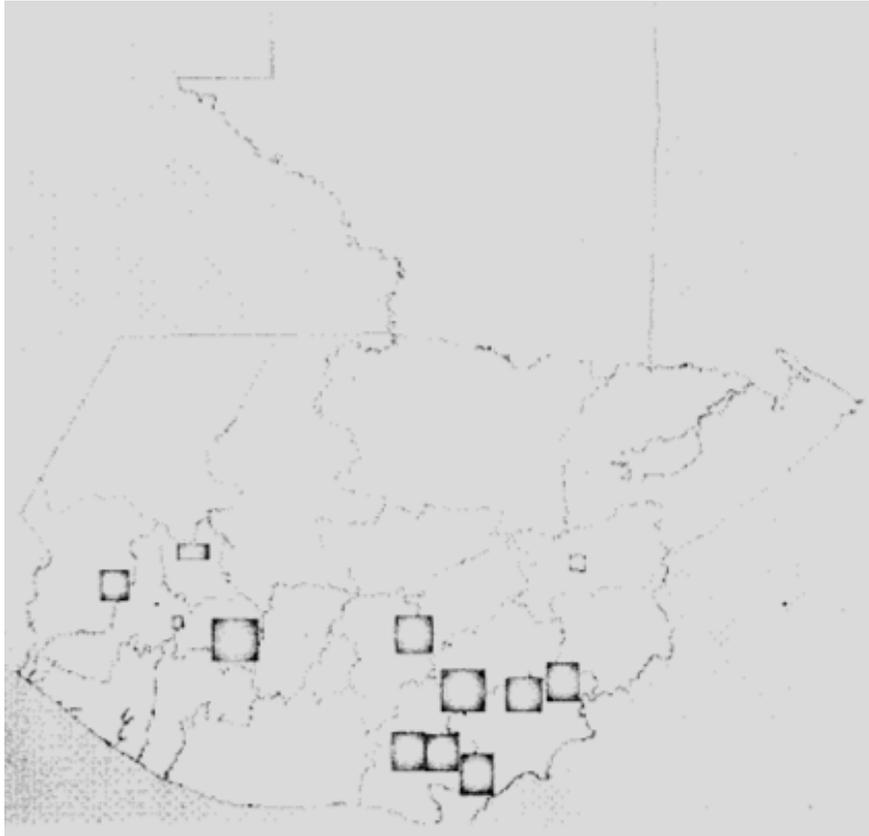
Guatemala es conocida por ser un país con gran actividad volcánica, esto es un indicio de gran potencial geotérmico. Algunas de las áreas de mayor interés son:

- San Marcos: sus estudios de prefactibilidad indican:
 - Temperatura de 225 °C.
 - Capacidad calculada inicial de 24 MW.
 - Capacidad estimada de 50 MW.
- Zunil: sus estudios de factibilidad indican:
 - Para el campo Zunil I:
 - Temperatura de 300 °C.
 - Capacidad probada de 24 MW.

- Capacidad estimada de 50 MW.
 - Para el campo Zunil II:
 - Temperatura de 240 °C.
 - Capacidad probada de 4 MW.
 - Capacidad estimada de 50 MW.
- Atitlán: no hay registros de estudios de prefactibilidad relacionados.
- Palencia: no hay registros de estudios de prefactibilidad relacionados.
- Amatitlán: sus estudios de factibilidad indican:
 - Temperatura de 265 °C.
 - Capacidad probada de 30 MW.
 - Capacidad estimada de 200 MW.
- Tecuamburro: sus estudios de prefactibilidad indican:
 - Temperatura de 300 °C.
 - Capacidad estimada de 50 MW.
- Motagua: no hay registros de estudios de prefactibilidad.
- Ayarza: no hay registros de estudios de prefactibilidad.
- Retana: no hay registros de estudios de prefactibilidad.
- Ixtepeque Ipala: no hay registros de estudios de prefactibilidad.
- Los achiotes: no hay registros de estudios de prefactibilidad.
- Moyuta: sus estudios de prefactibilidad indican:
 - Temperatura de 210 °C.
 - Capacidad estimada de 30 MW.
- Totonicapán: no hay registros de estudios de prefactibilidad.

En relación a la energía eléctrica que utiliza la energía geotérmica como fuente, Guatemala ha aprovechado de manera parcial el potencial con el que cuenta. De las áreas presentadas las que presentan las mayores temperaturas se presentan figura 6.

Figura 6. **Campos geotérmicos de alta temperatura**



Fuente: Unidad de Información Pública del Ministerio de Energía y Minas, expediente No. 108-2014. p. 7.

1.1.8. Utilización

En la tabla II se muestran las principales aplicaciones que se le ha dado a la energía geotérmica en las últimas décadas en función de la vivienda, ocio y salud; agricultura y alimentación; la industria.

Tabla II. **Aplicaciones de la energía geotérmica**

Sector	Nivel de Temperatura				Aplicación
	Poca	Baja	Media	Alta	
Vivienda, Ocio, Salud					Calefacción con bombas de calor
					Calefacción por suelo radiante
					Centro de ocio, piscinas
					Balneoterapia, aguas termales
					Precalentamiento (agua y aire)
					Agua caliente sanitaria
					Acuicultura
Agricultura y Alimentación					Cultivo de setas
					Calefacción de invernaderos por suelo
					Calefacción de invernadero por aire
					Precalentamiento de agua y aire
					Secados de productos agrícolas
					Fábrica de conservas
					Precalentamiento de agua y aire
Industria					Deshielo
					Secado de productos industriales
					Energía eléctrica (ciclo binario)
					Refrigeración por absorción
					Extracción de sustancias químicas
					Recuperación de metales
					Producción de energía eléctrica
					Evaporación, soluciones concentradas
					Fabricación de pasta de papel
					Refrigeración, absorción de amoníaco
	Poca	Baja	Media	Alta	

Fuente: elaboración propia, con base en la *Guía de energía geotérmica*.

1.1.8.1. Área rural

El principal uso que se le da a la energía geotérmica con fines económicos son de vivienda, salud y ocio en centros recreativos. Las localidades que se benefician de estas fuentes son:

- Amatitlán
- Quetzaltenango
- Totonicapán
- San Marcos

1.1.8.2. Área urbana

El área urbana se beneficia directamente de las centrales geotérmicas mencionadas anteriormente, pues estas están directamente conectadas a la red de distribución de energía eléctrica del país. Algunas industrias tales como Monolit utilizan la energía geotérmica para el curado de productos de concreto, otras como Agroindustrias La Laguna y Lemonex deshidratan frutas.

1.2. Energía hidráulica

En comparación la energía geotérmica, la explotación de recursos hidráulicos se ha desarrollado en mayor cantidad para la generación de energía eléctrica en todo el país. Esto ha dado lugar a que las centrales hidroeléctricas tengan una participación considerable en la matriz energética actual.

1.2.1. Historia de la energía hidráulica

La generación de energía eléctrica en Guatemala se inició en 1884 al instalarse la primera hidroeléctrica en la finca El Zapote, ubicada al norte de la capital. Al año siguiente se forma la Empresa Eléctrica del Sur por empresarios alemanes que instalaron la hidroeléctrica Palín de 732 kW, la cual brindó servicio a los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla.

En 1927 se construye la hidroeléctrica Santa María, con el fin de proveer de energía al Ferrocarril de los Altos. Cuando este medio de transporte desapareció, las autoridades de Gobierno deciden que la planta se oriente a cubrir la demanda de los departamentos de Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá y Suchitepéquez.

En 1940 se creó el Departamento de Electrificación Nacional. De manera paralela en 1930 se construyó la hidroeléctrica de Patzún en Chimaltenango y la de Patulul en Suchitepéquez.

En 1955 se inició la construcción de la central hidroeléctrica Río Hondo, en Zacapa. Posteriormente se creó el Instituto Nacional de Electrificación por medio del decreto 1 287, cuyos bienes iniciales fueron tanto la hidroeléctrica de Río Hondo como la de Santa María.

En 1971 fue instalada una turbina de gas en la finca Mauricio, en Escuintla, con capacidad de 12 500 kW. En ese mismo período el INDE amplió la capacidad de la planta Santa María a 6 880 kW.

En 1970 se instaló la hidroeléctrica Jurún Marinalá, y en 1982 inició operaciones la hidroeléctrica Aguacapa. Posteriormente ante el incremento de la demanda se instaló la hidroeléctrica de Chixoy, la más grande del país en la actualidad.

En 1992 iniciaron operaciones varias generadoras privadas, entre ellas se puede mencionar a los ingenios azucareros, ENRON en puerto quetzal y posteriormente en las plantas SIDEGUA, LAGOTEX, entre otros.

1.2.2. Energía hidráulica

Considerada una fuente de energía renovable, es aquella que se obtiene del aprovechamiento de la energía cinética y potencial del agua, es decir, la energía gravitacional disponible para generar electricidad a partir del agua que fluye de un nivel superior a otro inferior. Dicho proceso suele ocurrir de dos formas que son las corrientes naturales de agua en descenso, creadas por la precipitación de lluvia que fluye desde montañas, colinas y planicies a través de ríos o causes hasta el nivel del mar, o bien, por cambios del nivel de agua provocados por el hombre a través de diques o presas.

1.2.3. Tipos de energía hidráulica

La energía contenida en el agua puede ser aprovechada de diferentes maneras, entre ellas se puede mencionar la energía maremotérmica cuya función es aprovechar el cambio de temperatura que existe entre las aguas superficiales y profundas del océano. En este tipo de energía se utiliza una planta de conversión de energía térmica oceánica (CETO) para el proceso de generación de energía eléctrica.

“El sistema fue diseñado para funcionar con un ciclo abierto y cerrado, habiendo sido ideados por el físico de origen francés *Arsene d’Arsonval* y su alumno *Georges Claude* respectivamente. En términos generales éstas plantas utilizan el calor del agua superficial de los océanos a través de un motor de calor para vaporizar un fluido de trabajo y hacer girar la turbina. El agua más fría se bombea desde los niveles más bajos del océano para condensar nuevamente el fluido de trabajo.”¹

¹ CARLESS, Jennifer. *Energía renovable, guía de alternativas ecológicas*. p. 113.

Una manera diferente de aprovechar la energía cinética del agua es a través de las mareas, también conocida como energía mareomotriz, que en esencia son ascensos y descensos del agua en costas provocados por la gravedad del sol, la luna y el movimiento de rotación de la tierra.

El aprovechamiento de esta energía radica en capturar el agua cuando se eleva y después liberarla, dirigiéndola a una turbina para generar energía eléctrica.

“El uso de de este tipo de energía se remonta al siglo XX en Europa, fue en Nueva Inglaterra donde se utilizó plantas que llegaban a generar hasta un equivalente de 100 kW en energía mecánica. Actualmente existen dos diseños funcionales para la generación de energía eléctrica a través de mareas conocidas como generación en reflujo y en dos direcciones.”²

La generación en reflujo permite que el agua fluya a través de canales hacia una presa cuando esta sube. Todos los conductos o canales se cierran luego que el agua está contenida dentro de la presa, luego se espera a que la marea baje lo suficiente para permitir que exista una diferencia conveniente entre el nivel del agua que se libera para dirigirlo a la turbina.

La generación en dos direcciones maneja los mismos principios básicos que la de reflujo, la diferencia radica en que se produce energía eléctrica mientras la marea fluye en ambos sentidos, permitiendo un periodo más largo y constante de generación eléctrica, sin embargo, los costos iniciales se ven elevados y la eficiencia de la generación en reflujo disminuye.

² CARLESS, Jennifer. *Energía renovable, guía de alternativas ecológicas*. p. 132.

Otra forma de aprovechar la energía hidráulica es la undimotriz o también conocida como energía de las olas, tomando en consideración que estas son creadas por el viento sobre la superficie del océano, no fue sino hasta el siglo XVIII en Francia donde un padre y su hijo de apellido Girard propusieron esta nueva idea.

A pesar que se veía como algo innovador, no prosperó dado que emergieron nuevas alternativas a lo largo del tiempo como medio de generación de energía tanto mecánica como eléctrica.

Actualmente es posible generar energía eléctrica a partir de la undimotriz a través de seguidores de superficies, dispositivos activados a presión y aparatos de concentración. Cuando se habla de seguidores de superficie, se hace referencia a un aparato flotante en la superficie del océano, estos utilizan una conexión mecánica entre un dispositivo que flota y un pivote fijo para convertir en electricidad los movimientos ascendentes y descendentes de la ola. Algunos son tan eficientes que incluso han demostrado una eficiencia de un 80 % de absorción de energía.

Un ejemplo de un aparato que se activa por presión son las columnas de agua oscilante, que consiste en un mecanismo abierto al mar que encierra un volumen de aire que se comprime cuando la ola entra y se expande cuando la ola sale, haciendo circular el aire a presión a través de una turbina que puede ser bidireccional.

Finalmente, “Los aparatos de concentración utilizan barreras físicas para redirigir las olas, concentrando su energía hacia un punto particular para potenciar su energía. De manera más específica, las olas se redirigen hacia un canal estrecho e inclinado que impulsa el agua hacia arriba hasta una altura

suficiente para que pueda derramarse dentro de una cisterna de desagüe, de los tres mencionados anteriormente, este es el que tiene un mayor potencial para producir grandes cantidades de energía.”³

A pesar de que la energía en el agua se puede presentar de diversas maneras, eventualmente estas requieren de ciertas condiciones que deben estar presentes para su correcta explotación, como temperaturas adecuadas para la energía maremotérmica, cambios de mareas lo suficientemente grandes para la energía mareomotriz o ya sean olas lo suficientemente grandes para la undimotriz.

En Guatemala no se han explotado ninguna de las tres alternativas de energía hidráulica hasta ahora presentadas, los registros muestran que solo se han hecho estudios de todas las playas guatemaltecas obteniendo pros y contras del uso de este tipo de energía.

Sin embargo, existe otra forma de aprovechar la energía hidráulica, que se ha aprovechado y que tiene un gran potencial, esta es la energía que se obtiene a partir de centrales hidroeléctrica, la cual se detallará más adelante.

1.2.4. Conceptos de hidroeléctricas

Una central o planta hidroeléctrica es una infraestructura diseñada para aprovechar la energía hidráulica, es decir, que permite realizar una conversión de energía hidráulica a energía eléctrica. La secuencia de pasos para la transformación de la energía hidráulica se detalla en figura 7.

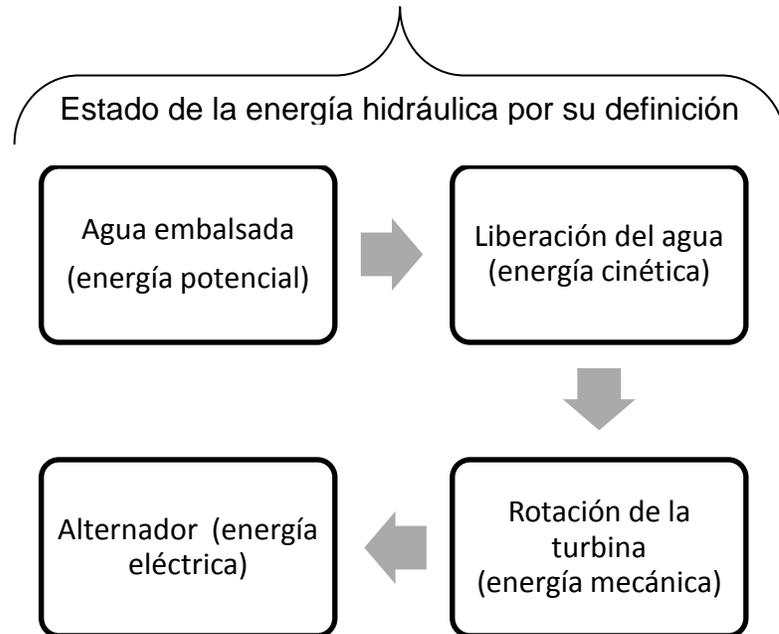
³ CARLESS, Jennifer. *Energía renovable, guía de alternativas ecológicas*. p. 123.

Las centrales hidroeléctricas se construyen de acuerdo a su necesidad, condiciones ambientales o bien a la capacidad, por ello estas se clasifican en:

- Por la magnitud de volumen embalsado
 - Centrales con almacenamiento
 - Con bombeo
 - ✓ Con un solo embalse
 - ✓ Con dos embalses
 - Sin bombeo
 - Centrales de agua fluyente
- Por la categoría de la instalación en el sistema total de energía
 - Central para carga máxima
 - Central para carga básica
 - Central aislada
- Por la altura de caída
 - Central de caída alta
 - Central de caída mediana
 - Central de caída baja

Para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos a lo largo de una corriente se identifican las primeras dos clasificaciones, las centrales sin almacenamiento y las que ofrecen cuencas naturales o artificiales de embalse para centrales con almacenamiento. En general una central sin almacenamiento es más barata que otra de igual capacidad con almacenamiento, con la desventaja de que está sujeta a variaciones estacionales para la producción de energía.

Figura 7. **Proceso de conversión de energía hidráulica a energía eléctrica**



Fuente: elaboración propia.

Las centrales de bombeo son un tipo especial de hidroeléctricas que permiten utilizar el recurso hídrico de manera más racional. Su funcionamiento se basa en el transporte de agua hacia la central, donde se encuentran las turbinas para tener la capacidad de producir energía eléctrica aún cuando la demanda alcanza su máximo nivel.

En las centrales de bombeo de un solo embalse, el agua que se ha utilizado para la generación de energía eléctrica se reutiliza para el mismo proceso bombeándola cuando esta ha atravesado el conducto de salida. Por otra parte, cuando hay dos embalses, estos deben estar a una diferente altura para facilitar el bombeo de uno hacia el otro.

La segunda clasificación hace referencia a la capacidad que tiene la central hidroeléctrica para satisfacer una demanda determinada, así pues, la carga máxima hace referencia a la demanda máxima por parte de los consumidores.

La carga básica usualmente será un medio de suministrar energía eléctrica de manera aledaña a otros. Finalmente las de carga aislada se caracterizan por ser una microcentral que permiten generar pequeñas cantidades de energía eléctrica.

Dos factores que determinan la cantidad de energía que una central hidroeléctrica puede crear son la cabeza y el flujo del agua. La cabeza es la altura del agua que cae desde el punto en el que comienza su descenso hasta el punto más bajo, debajo de la turbina.

Es aquí donde entra la tercera clasificación de las centrales hidroeléctricas, si bien no hay límites definidos entre las caídas alta, mediana y baja, se puede considerar 500 pies como una caída alta, y una de 50 pies como una de caída baja. Pueden utilizarse varias combinaciones de cabeza y flujo, una instalación con una cabeza alta y un flujo bajo es más económica que un sistema con alto flujo y cabeza baja.

1.2.5. Componentes de una hidroeléctrica

Es posible analizar una hidroeléctrica como un sistema, cuyo objetivo es la generación de energía eléctrica y sus elementos son:

- Bocatoma
- Obra de conducción o canal

- Desarenador
- Tanque de presión
- Aliviadero
- Tubería de presión
- Casa de máquinas
- Turbinas de reacción
 - Turbina Francis
 - Turbina Kaplan
 - Turbina Pelton
- Válvulas
- Presa
 - Presas de materiales sueltos
 - Presas de hormigón
 - De gravedad
 - Contrafuerte
 - De bóveda
 - Escollera
- Alternador

Las tomas de agua o tuberías de conexión sirven para llevar el agua al cuarto de máquinas. Estas se localizan en la pared interior de la presa que entra en contacto con el agua embalsada, poseen unas rejillas que impiden que elementos extraños como troncos, ramas, etc. Puedan llegar a la turbina y producir daños.

El canal se encarga de conducir el caudal desde la bocatoma hasta el tanque de presión, posee una pequeña pendiente, dependiendo del diseño puede ser un canal, un tubo o una tubería.

El desarenador es un tanque en el cual se quitan las partículas en el agua, por lo general esta al final de la obra para que el agua pierda velocidad junto con las partículas para que estas últimas caigan y se queden en el fondo del tanque.

El tanque de presión esta por lo general cerca del desarenador, en el cual la velocidad del agua es prácticamente cero, su principal función es evitar que entren burbujas de aire en la tubería de presión, también ayuda a amortiguar el golpe de ariete. La cámara de presión debe soportar la partida y la parada brusca de los generadores.

El tanque de presión está conectado por medio de una transición de la cual el agua pasa a la tubería de presión a través de una rejilla que evita la entrada de elementos sólidos flotantes. Los excesos de agua en la cámara de presión se liberan a través de un aliviadero.

Un vertedero hidráulico o aliviadero es un mecanismo que permite proteger la presa de los desbordamientos a liberar parte del agua sin que esta pase por la sala de máquinas. Para conseguir que el agua salga por los aliviaderos existen grandes compuertas de acero que pueden abrirse o cerrarse a voluntad, según sea demandada la situación. Cabe mencionar que el desbordamiento de las presas puede provocar daños a la infraestructura provocando un riesgo.

La tubería de presión conduce el agua desde el tanque hasta la turbina, la cual deberá estar apoyada en anclajes que le ayudan a soportar la presión a la cual estará sometida y las dilataciones térmicas de la misma. La tubería de presión se recomienda que sea lo más recta posible, aunque siempre se debe ajustar a las condiciones topográficas de la central.

La casa de máquinas es la instalación donde se encuentran los elementos de comando y regulación, desde acá es posible controlar los caudales de las tomas de agua que harán trabajar la turbina así como la de los aliviaderos a través de compuertas de entrada y salida, así también los conductos de entrada de agua al embalse.

La válvula está ubicada antes de la turbina y se utiliza para el cierre del caudal a través de la turbina y para procesos de reparación y mantenimiento.

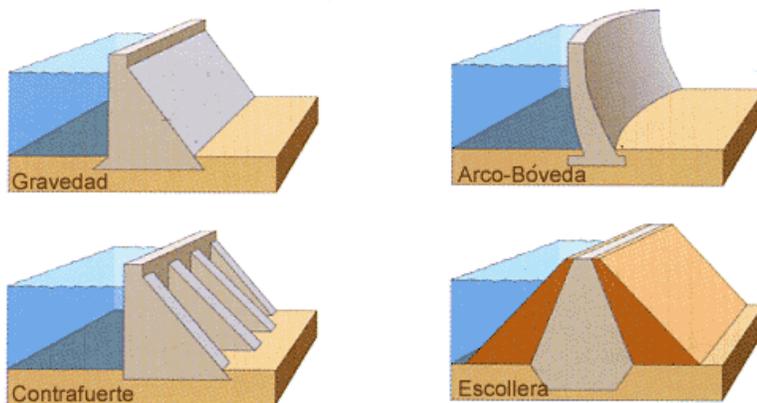
Para caídas superiores a 200 metros, las válvulas antes de la turbina son operativas, es decir que se cierran con la parada de la turbina con el fin de evitar cavitación. Para centrales con caídas bajas se utilizan válvulas de compuerta y para caídas entre 30 y 200 metros válvulas de mariposa.

El componente principal y más sobresaliente de una central hidroeléctrica es la presa o azud, que es la encargada de contener el agua que se utilizará para la conversión de energía. Las presas de materiales sueltos, están elaboradas de tierra y rocas que suelen recubrirse de un material impermeable como arcilla para impermeabilizar y de esta manera evitar filtraciones. Las presas de hormigón son las más utilizadas y se pueden clasificar en:

- De gravedad: tienen un peso adecuado para contrarrestar el momento de vuelco que produce el agua.
- De contrafuerte: están formadas por una pared impermeable que impide el paso del agua apoyada por contrafuertes que transmiten la presión al suelo.
- De bóveda: necesitan una menor cantidad de materiales que las de gravedad debido a su diseño curvo, esto permite que la presión del agua se transmita de manera integral en la superficie del terreno.

- De escollera: tienen un núcleo de material arcilloso, que a veces es tratado químicamente o se le aplican inyecciones de cemento. Ver figura 8.

Figura 8. Tipos de presas



Fuente: <http://www.xtec.cat/~cgarci38/tecnologia/construccions/construcciones12.htm>. Consulta: 22 de abril de 2013.

Las turbinas son el corazón de una central hidroeléctrica dado que son las encargadas de transformar en energía mecánica la energía cinética del agua cuando esta hace girar sus álabes. El desarrollo de estas ha evolucionado a lo largo del tiempo, acoplándose a las necesidades y requerimientos de la industria.

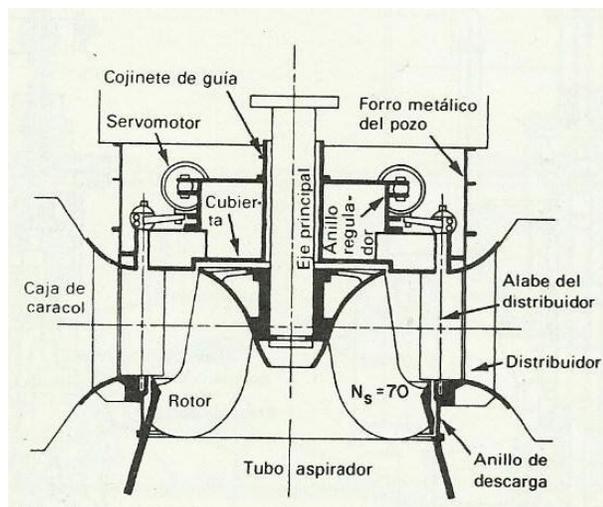
Fue en 1875 que James Francis perfeccionó su primera turbina centrípeta, está ahora lleva su nombre. Esta turbina fue líder y pionera durante casi 25 años dado su diseño.

Básicamente el agua proveniente de los pasajes entra en la caja en espiral, pasa por el anillo distribuidor guiada por las paletas fijas de dicho anillo,

después atraviesa los álabes móviles del distribuidor, cruza el rotor y entra al tubo aspirador, por el cual fluye hacia el canal de descarga.

“Los álabes móviles del distribuidor, cuyos ejes son paralelos al eje principal, controlan el flujo de agua hacia el rotor y en consecuencia la salida de potencia de la turbina. En los rotores de las turbinas Francis los extremos superiores de los álabes cóncavos generalmente están unidos a una corona y los extremos inferiores a una banda, de modo que cierran completamente el conducto de agua a través del rotor. Las turbinas Francis usualmente se emplean para caídas medias y altas, es decir mayores a 50 pies.”⁴ Ver figura 9.

Figura 9. Principales elementos de una turbina Francis



Fuente: CONSIDINE, Douglas. *Tecnología de las energías: solar, hidráulica, geotérmica y combustibles químicos*. p. 227.

⁴ CONSIDINE, Douglas. *Tecnología de las energías: solar, hidráulica, geotérmica y combustibles químicos*. p. 227.

La baja velocidad del rotor tipo Francis en caídas bajas lo que dio paso a lograr un nuevo diseño, fue en 1920 que se lograron progresos tanto en el rotor como en los álabes, cuando estos se diseñaron de tal manera que se pudieran ajustar y colocar en diferentes ángulos para compensar los cambios de nivel de la antecámara sin pérdida de eficiencia.

“Los álabes podían ajustarse a mano o por medio de un motor eléctrico a través de un tren de engranajes, pudiendo variar entre un mínimo de 10° y un máximo de 32°. Actualmente los álabes pueden ajustarse a base de presión y aceite desde la casa de máquinas. Este tipo de turbina se denomina comúnmente turbina Kaplan.”⁵ Ver figura 10.

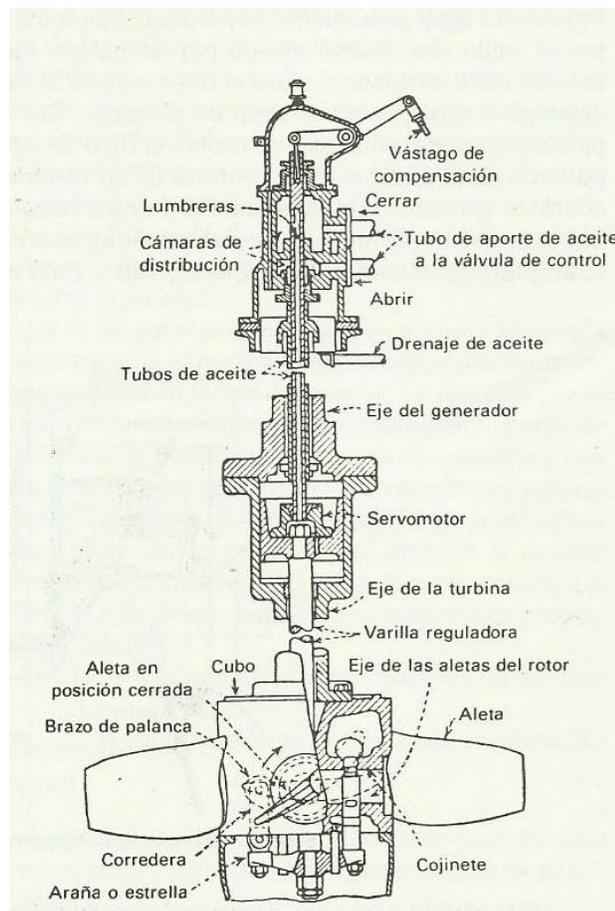
Por otra parte existen las turbinas Pelton, cuya principal característica son sus álabes cóncavos haciéndolas ideales para explotar caudales bajos. Las centrales hidroeléctricas que tienen este tipo de turbina usualmente cuentan con una larga tubería llamada tobera para transportar el flujo desde grandes alturas, que pueden llegar hasta doscientos metros, en consecuencia se le considera una turbina de las más eficientes.

El agua pasa por el tubo de la tobera, la tobera de aguja y luego por la boquilla de la tobera en forma de chorro libre. El tamaño del chorro y por lo tanto la salida de potencia de la turbina se controlan mediante una aguja situada en el centro de la tobera y de la boquilla de la tobera. El movimiento de la aguja es controlado por un regulador. Justo frente a la boquilla de la tobera se encuentra un deflector que desvía el chorro e impide que llegue a los álabes con el fin de efectuar reducciones repentinas de carga. Ver figura 11.

⁵ CONSIDINE, Douglas. *Tecnología de las energías: solar, hidráulica, geotérmica y combustibles químicos*. p. 228.

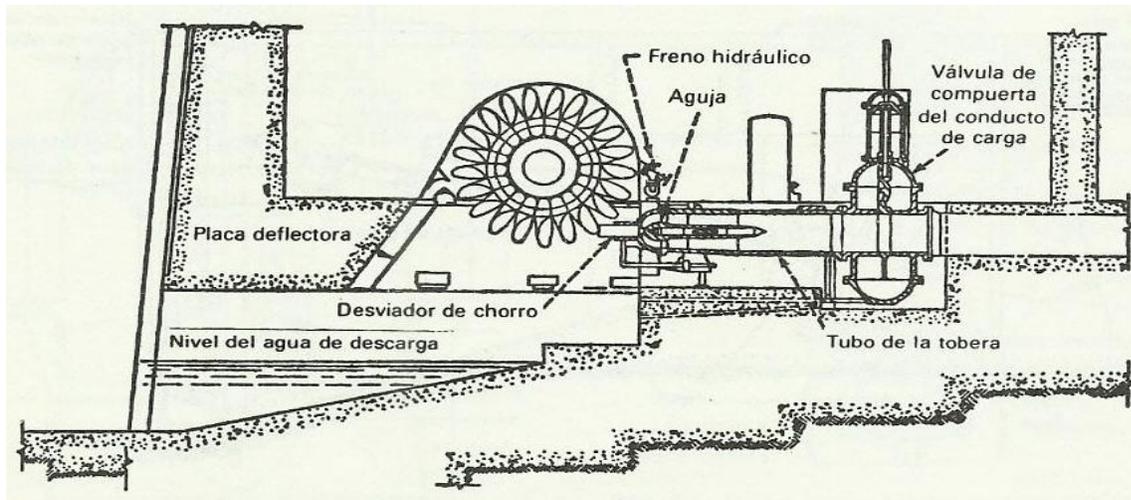
El elemento final de una hidroeléctrica es el alternador, la función de esta máquina eléctrica es la transformación de energía mecánica en energía eléctrica. Cuando el eje de una turbina está conectado al inductor del alternador se genera el movimiento rotacional necesario para generar corriente alterna al cambiar constantemente la polaridad para que haya un movimiento que genere energía eléctrica.

Figura 10. **Corte vertical del elemento giratorio de una turbina Kaplan**



Fuente: CONSIDINE, Douglas. *Tecnología de las energías: solar, hidráulica, geotérmica y combustibles químicos*. p. 228.

Figura 11. **Funcionamiento de una turbina Pelton**



Fuente: CONSIDINE, Douglas. *Tecnología de las energías: solar, hidráulica, geotérmica y combustibles químicos*. p. 230.

1.2.6. **Riesgos naturales de la hidroeléctrica**

Desde una perspectiva ambiental, la construcción de una central hidroeléctrica en un río o incluso su modificación retroactiva puede tener efectos perjudiciales al ecosistema donde se construya. El tamaño de la construcción es directamente proporcional al daño ocasionado, pues la vida acuática y vegetal resulta afectada, además que la calidad del agua y de los terrenos no es la misma.

Los peces se ven afectados dado que los ríos donde estos nadan pueden estar bloqueados por un dique, además de que la hidroeléctrica al controlar el flujo de agua, puede afectar la temperatura, el contenido de minerales o de oxígeno de esta.

Durante la fase de construcción, los accidentes que pueden ocurrir afectan fundamentalmente la mano de obra. Sin embargo, otro riesgo que se presenta es el desbordamiento de la presa ya sea por el mal funcionamiento de los aliviaderos o bien por falta de control de los niveles del agua.

El mayor riesgo que se presenta en una hidroeléctrica, que puede ocasionar un accidente catastrófico es la rotura del muro de contención, provocando la liberación de una gran cantidad de volumen de agua. Los efectos de este accidente son la erosión del terreno lavado, innumerable cantidad de pérdida de flora y fauna, así como de cultivos en caso los haya y finalmente la pérdida de vidas humanas. A pesar de que existen riesgos que pueden tener consecuencias muy negativas, estos se pueden prevenir tomando las medidas adecuadas.

1.2.7. La energía hidráulica en la generación de energía en Guatemala

La historia muestra que la explotación de la energía hidráulica en Guatemala ha tenido mayor relevancia en comparación a la energía geotérmica. Es por ello que su participación en la matriz energética es considerablemente mayor no solo en comparación a la energía geotérmica sino también a todas las demás fuentes de energía renovable.

Su potencial para la generación de energía eléctrica es de 6 000 MW según estimaciones, del cual se ha aprovechado un 36 %. En la tabla III se detalla el desarrollo de las hidroeléctricas más importantes en Guatemala a lo largo de la historia.⁶

⁶ Ver tabla de “Matriz energética actual”.

Tabla III. **Resumen cronológico de las hidroeléctricas más importantes en Guatemala**

Año	Nombre de hidroeléctrica	Datos de Interés
1884	-----	Primera hidroeléctrica, ubicada en la finca "El Zapote".
1885	Palín	Capacidad de 732 kW.
1927	Santa María	Es considerada de regulación diaria, con un embalse de 215 500 m ³ como volumen útil. El agua se conduce hasta la casa de máquinas a través de una tubería de 0,614 km de longitud.
1955	Río Hondo	Fue una de las primeras propiedades del INDE.
1930	Patzún y Patulul	Fueron creadas casi al mismo tiempo de manera independiente por el ingeniero Oswaldo Santizo.
1970	Jurún Marinalá	Ubicada en la aldea Agua Blanca al interior de la finca "El Salto" en el departamento de Escuintla. Tiene un embalse de 112 000 m de capacidad, se traslada a través de un túnel de presión de 4,03 km y una tubería de presión de 2,44 km a la casa de máquinas.
1971	Santa María	En este año se mejoró la central, actualmente cuenta con 3 unidades generadoras de diferente capacidad instalada. Tiene una unidad de 2,48 MW y otras dos unidades con una de 2,2 MW de capacidad.
1982	Aguacapa	Ubicada en el departamento de Escuintla, cuenta con tres turbinas tipo Pelton de eje horizontal, con una capacidad de 30 MW cada una. Posee un embalse de 300 000 m de capacidad y el agua se transporta a través de un túnel de 12,04 km para llegar a la casa de máquinas.
1983	Chixoy	Ubicada en Alta Verapaz, cuenta con cinco unidades 55 MW de capacidad cada una. Posee un embalse de 460 millones de m ³ de agua a través de un tramo de túnel de 26 km.
2005	Palín II	Consta de dos turbinas tipo Francis, con una capacidad de 2,9 MW por unidad.

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el Ministerio de Energía y Minas.

1.2.8. Utilización

La explotación de los recursos hidráulicos para ofrecer bienes y servicios a la población tiene un mayor impacto en la instalación y operación de centrales hidroeléctricas. Actualmente Guatemala, en el proceso de modificar su matriz energética ha avanzado en la electrificación nacional para brindarles este servicio a sus ciudadanos.

1.2.8.1. Área rural

En Guatemala, el 70 % de la población pobre vive en áreas rurales. Es por esta razón que actualmente existe un plan llamado *Programa Regional de Energía y Pobreza en Centro América* conocida como PREPCA, que tiene como propósito la construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas para contribuir a mejorar la calidad de vida de las familias. En este contexto, las pequeñas hidroeléctricas se definen como aquellas máquinas cuya potencia tiene un rango de 1 a 100 kilovatios, destinados para energizar sistemas aislados, tanto a nivel finca, como a nivel comunitario que no tiene acceso a la red pública de distribución.

Contribuir con proyectos de esta naturaleza ayuda a proporcionarles las condiciones necesarias a la gente de escasos recursos para salir adelante, pues es más que evidente la correlación que existe entre la ausencia de energía eléctrica y el índice de pobreza en la sociedad, además se contribuye a disminuir considerablemente la tala de árboles y quema de leña, dado que estos son la principal fuente de energía en esta zona.

1.2.8.2. Área urbana

El área urbana se beneficia directamente de las centrales hidroeléctricas mencionadas anteriormente, pues estas están directamente conectadas a la red de distribución de energía eléctrica del país.

2. POLÍTICA DE ENERGÍA HIDRÁULICA Y GEOTÉRMICA EN GUATEMALA

Según la Constitución de la República de Guatemala, en el artículo 129 se declara de urgencia nacional la electrificación del país y en el artículo 130 se prohíbe los monopolios, de hecho, “El estado tiene la autoridad de limitar el funcionamiento de una empresa que absorba o tienda a absorber alguna rama industrial en perjuicio de la economía nacional”⁷. Por esta razón en Guatemala es posible identificar instituciones públicas y privadas cuya función es gestionar los recursos renovables para proporcionar el servicio de electrificación a los ciudadanos del país.

2.1. Marco institucional

La Ley General de Electricidad dicta que el “Ministerio de Energía y Minas (MEM) es el órgano del estado responsable de elaborar y coordinar políticas energéticas, planes de estado y programas indicativos relativos al sector eléctrico.”⁸ Las políticas del sector eléctrico son:

- Aumentar la oferta energética del país a precios competitivos.
- Diversificar la matriz energética del país, priorizando las energías renovables.
- Promover la competencia e inversiones.

⁷ Congreso de Guatemala. Constitución política de la Republica de Guatemala. Art. 130.

⁸ Congreso de Guatemala. Ley General de Electricidad. p. 2.

- Promover el desarrollo sostenible y sustentable a partir de recursos renovables y no renovables del país.
- Incrementar la eficiencia energética.
- Impulsar la integración energética.

Las políticas generales de Guatemala en el subsector eléctrico, ligadas a energías renovables son:

- Garantizar el respeto de los derechos y obligaciones de los consumidores.
- Proporcionar certeza y seguridad jurídica a las personas individuales y jurídicas que han realizado o realizan inversiones dentro del subsector eléctrico y que intervienen en su desarrollo.
- Establecer estrategias para la promoción nacional e internacional de ejecución de los proyectos de recursos renovables estudiados en Guatemala.
- Coadyuvar a que la oferta de servicio eléctrico sea viable, eficiente y suficiente en cantidad y en calidad, como una condicionante para la satisfacción de la demanda y la competitividad de la economía guatemalteca.

Estas políticas están enfocadas al cambio de la matriz energética para independizar a Guatemala del petróleo como fuente de generación de energía eléctrica, buscando que la mayor parte de la energía sea generada con recursos renovables, garantizando que el país cuente con la energía necesaria para mejorar el nivel de todos los habitantes, a precios que permitan su acceso a la mayoría de la población y otorgue al país las condiciones de competitividad necesarias para ser un destino atractivo para la inversión extranjera.

El MEM también es encargado de velar que el proceso de autorización de centrales y prestación del servicio de transporte y distribución se realice conforme a la ley. Asimismo, le concierne atender lo que se refiere al régimen jurídico de la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía.

Por otra parte, su marco institucional está compuesto por tres entes, estos son el Ministerio de Energía y Minas, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) y el Administrador del Mercado Mayorista (AMM).

La CNEE está integrada por tres miembros; estos son propuestos por el MEM, los rectores de las universidades y el mercado mayorista para ser nombrados por el Organismo Ejecutivo. La CNEE es un ente fiscalizador que tiene como propósito:

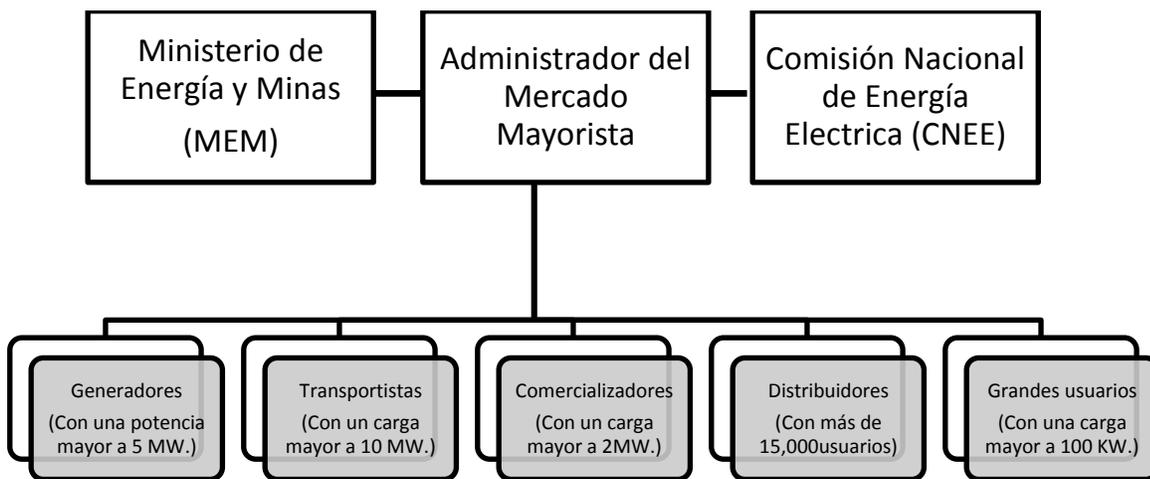
- Velar por el cumplimiento de la Ley General de Electricidad en Guatemala e imponer las sanciones a los infractores.
- Velar por el cumplimiento de las obligaciones de los adjudicatarios, proteger los derechos de los usuarios y prevenir conductas atentatorias a la libre empresa.
- Definir tarifas de transmisión y distribución y su metodología de cálculo.
- Evitar controversias entre los agentes del subsector eléctrico.
- Emitir las normas técnicas y velar por su cumplimiento.

El administrador del mercado mayorista es el conjunto de operaciones de compra y venta de bloques de potencia y energía que se efectúan a corto y a largo plazo entre agentes de mercado, los cuales pueden ser:

- Generadores
- Transportistas
- Comercializadores
- Distribuidores
- Grandes usuarios

Asegura las condiciones de competencia, en un ámbito de libre mercado, con reglas claras promoviendo así la inversión en el sistema eléctrico. Sus esfuerzos están enfocados a la satisfacción de los clientes.

Figura 12. **Estructura del mercado eléctrico nacional**



Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el MEM.

2.1.1. **Energía hidráulica**

La institución más influyente en la administración de la energía hidráulica es el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), cuya función es contribuir al desarrollo del mercado eléctrico nacional y regional a través de la producción, transporte y comercialización de electricidad.

Dentro de los objetivos institucionales del INDE se puede encontrar el aprovechar los recursos naturales renovables con fines energéticos y la protección del entorno ambiental. Actualmente el INDE administra 9 hidroeléctricas.

Cabe destacar que el INDE busca impulsar la comercialización de potencia, energía y servicios especialmente de fuentes renovables en el mercado eléctrico nacional y regional bajo un marco de sostenibilidad socio ambiental y estabilidad económica institucional, para estimular el desarrollo social del país.

El INDE es una institución dedicada a los procesos de energía eléctrica dentro del subsector eléctrico, su actuar está establecido en la Ley Orgánica del INDE y sus reformas según el Decreto No. 64-94 del Congreso de la República de Guatemala. Y en apego a la separación de funciones y administración de las actividades de distribución, generación y transmisión de energía eléctrica del INDE acordadas en la Ley General de Electricidad, se origina la Empresa de Generación de Energía Eléctrica (EGEE), Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica (ETCEE) y la Empresa de Comercialización de Energía (ECOE).⁹ Dentro de las políticas de EGEE se menciona:

- Garantizar la satisfacción de sus relaciones contractuales.
- Asegurar el menor tiempo posible en la entrega y alta calidad de potencia, energía, proyectos y servicios para sus clientes internos y externos.
- Consolidar la eficiencia de costos de calidad en la producción de la energía eléctrica y las diferentes actividades que se generan en EGEE.

⁹ Ver políticas públicas, inciso 2.2

- Desarrollar y mantener la competencia del recurso humano.
- Medir y controlar el desempeño de la gestión.
- Implementar y asegurar el plan estratégico de INDE/EGEE para el cumplimiento y visión de la empresa.

Estas políticas permiten a la empresa alcanzar objetivos como proveer servicios complementarios para mejorar la rentabilidad del país, consolidar la imagen institucional ante sus clientes y en la comunidad, mejorar la gestión aplicando los procesos y recursos disponibles para la empresa; aprovechando las oportunidades y optimizando los recursos con los que dispone para obtener mejores y mayores resultados. Las centrales hidroeléctricas a cargo de EGEE se muestran en la tabla XVII.

Así también la EGEE cuenta con estrategias enfocadas a la eficiencia de la producción manteniendo la maquinaria y equipo en óptimas condiciones, la eficiencia de la organización para que la empresa y cada frente de trabajo tenga conocimiento acerca de la posición actual de la empresa y hacia dónde se dirige, finalmente la mejora continua de la competitividad puesto que a través de mejoras de la innovación tecnológica, la gestión de mantenimientos, competencias del personal y ambiente laboral podrán estar a un nivel o superar a los competidores que actualmente se encuentran en el mercado y ser catalogados como una empresa líder en la industria de generación de energía eléctrica.

La ETCEE tiene como finalidad el transporte de energía eléctrica de manera continua en el Sistema Nacional Interconectado (SIN) y de las interconexiones regionales, operación, mantenimiento, mejoras y aplicaciones de la infraestructura de transformación, control y comunicaciones.

Así como la de participar en el subsector eléctrico nacional como empresa de servicio de transporte de electricidad y el mercado eléctrico regional. La ECOE tiene como función comercializar en el mercado mayorista y sistema aislado de Santa Elena Petén.

Su actividad principal es comprar y vender bloques de potencia y energía eléctrica con carácter de intermediación en el mercado nacional e internacional. Por otra parte también existen instituciones privadas que realizan un aporte considerable a la matriz energética. Estas empresas están enfocadas a elevar su competitividad y a la vez a contribuir al desarrollo sostenible del país, en un compromiso de mutuo beneficio. Ver tabla XVIII.

2.1.2. Energía geotérmica

Los recursos geotérmicos explotados en Guatemala son inferiores en porcentaje en comparación a la energía hidráulica. Dentro del sector público se puede identificar al INDE con la central geotérmica “Calderas” cuya capacidad es de 12 MW. Las políticas energéticas aplicables a energía hidráulica también aplican para energía geotérmica.

Por otra parte en relación al sector privado, la empresa transnacional ORMAT Industries Inc., es la propietaria de dos centrales geotérmicas, las cuales son Zunil I ubicada en el departamento de Quetzaltenango y la planta Amatitlán ubicada en el departamento de Guatemala cuya capacidad de generación son de 25,2 MW y 24 MW respectivamente. Dentro de las políticas de ORMAT se puede mencionar:

- Compromiso a desarrollar soluciones energéticas verdes y sustentables a través del desarrollo de tecnología pionera para el máximo

aprovechamiento de recursos geotérmicos preservando los reservorios para futuras generaciones.

- Trabajar con la comunidad y apoyar al desarrollo local a través de la creación de trabajo, iniciativas de educación, fondos de desarrollo y voluntariado.
- Trabajar arduamente con escuelas e instituciones de alto aprendizaje para promover la educación de energía verde.
- Sentar las bases para el futuro en materia de conocimiento científico.

2.2. Políticas públicas

En Guatemala existe un marco regulatorio en materia de energía eléctrica, está contenido por:

- La Constitución Política de la República.
- Ley General de Electricidad, Decreto No. 93-96.
- Reglamento de la Ley General de Electricidad, Acuerdo Gubernativo 256-97.
- Reformas al Reglamento de la Ley General de Electricidad, Acuerdo Gubernativo 68-2007.
- Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, Acuerdo Gubernativo 69-2007.
- Normas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
 - Normas de coordinación y operatividad.
 - Normas de coordinación comercial.
- Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, Decreto No. 52-2003.
- Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, Decreto No. 52-2003.

- Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto Número 68-86.

La Ley General de Electricidad norma el desarrollo del conjunto de actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad independientemente del recurso utilizado para su generación. La ley conceptualiza términos generales, define entidades fiscalizadoras y establece las directrices como se muestra a continuación:

- Título I: Definiciones Generales.
- Título II: Autorizaciones.
 - Autorizaciones.
 - Autorizaciones para el transporte de energía eléctrica.
 - Autorizaciones para centrales generadoras.
 - Servicio de distribución final de electricidad.
 - Terminación y transferencia de autorizaciones.
- Título III: Comisión nacional de energía eléctrica.
 - Integración y funciones.
- Título IV: El Mercado mayorista.
 - Generalidades.
- Título V: Sistemas de transporte.
 - Características generales.
 - Acceso a la capacidad de transporte existente.
 - Ampliaciones a la capacidad de transporte.
 - Sistema de peaje para el transportista y el usuario.
 - Régimen de calidad del servicio de transporte.
 - Cargo por conexión de transporte.
 - Peaje para prestadores de la función de transportista.
- Condiciones Generales del servicio de distribución.

- Distribución.
- Normas complementarias.
- Precios máximos de distribución.
- Precios máximos de los sistemas aislados.
- Calidad del servicio de distribución final.
- Título VII: Sanciones.
 - Disposiciones generales.
 - Sanciones a participantes del mercado mayorista.
 - Sanciones a transportistas.
 - Sanciones a distribuidores.
 - Sanciones a usuarios.
 - Procedimientos para la imposición de sanciones.
- Título VIII: Recursos administrativos.
- Título IX: Disposiciones transitorias.

Uno de los aspectos más importantes en relación a la actividad eléctrica regido por la Ley General de Electricidad es la contenida en el Título I, en el apartado de la separación de funciones en la actividad eléctrica.

En este apartado indica que una misma persona, individual o jurídica, al efectuar simultáneamente las actividades de generar, transportar y/o distribuir energía eléctrica deberá hacerlo a través de empresas o personas jurídicas diferentes. Exceptuando de esta ley a todas aquellas empresas cuya capacidad instalada sea menor a 5 MW y a las empresas municipales. Considerando la adecuada aplicación de la Ley General de Electricidad, se desarrollaron normas en forma reglamentaria, el MEM emitió el Reglamento de la Ley General de Electricidad de la República de Guatemala. En este reglamento se detalla de manera más específica todo lo concerniente a la Ley General de Electricidad.

La norma conceptualiza términos generales define entidades fiscalizadoras y establece las directrices, su estructura es la misma que la de la Ley General de Electricidad, la diferencia radica en el nivel de detalle dado que la Ley General de Electricidad cuenta con 82 artículos y 7 artículos de disposiciones transitorias, por otra parte el reglamento cuenta con 144 artículos y 13 de disposiciones transitorias.

La Ley de Incentivos para el Desarrollo de Energía Renovable tiene como propósito el “Promover el desarrollo de proyectos de energía renovable y establecer los incentivos fiscales, económicos y administrativos”¹⁰. Entre los beneficios se puede encontrar la exención de derechos arancelarios para las importaciones, incluyendo el IVA; cargas y derechos consulares sobre la importación de maquinaria y equipo que tienen como propósito funcionar en dentro del proceso de generación de energía eléctrica. Así también es posible obtener una exención del ISR por 10 años. Este incentivo tendrá vigencia a partir de la fecha en que el proyecto inicia la operación comercial.

Es importante destacar que los incentivos no solamente aplican para inversionistas nacionales, pues la ley de inversión extranjera, Decreto 9-98 establece que se prohíbe todo acto de discriminación en contra de un inversionista extranjero o su inversión y se le debe reconocer un tratamiento igualitario a los inversionistas nacionales en el desarrollo de actividades económicas.

El inversionista extranjero puede participar en el desarrollo de cualquier actividad económica lícita en el país y dentro de este marco se encuentra la energía renovable. Dentro de las garantías y derechos que ofrece están:

¹⁰ Congreso de Guatemala. Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable. p. 2.

- Propiedad privada
- No expropiación de inversión
- Libertad de comercio
- Acceso a divisas
- Seguros de la inversión
- No doble tributación
- Solución de controversias

2.2.1. En la energía hidráulica

El uso de la energía hidráulica como fuente de energía eléctrica se rige por lo contenido en la Ley General de Electricidad de Guatemala y el Reglamento de la Ley General de Electricidad en Guatemala. De manera específica el reglamento en el apartado de autorizaciones para centrales generadoras del título III, indica que se requerirá de autorización para la utilización de recursos hidráulicos cuando la potencia de la central exceda de 5 MW.

Cuando para la construcción de la central se requieran de obras de embalse que puedan afectar el régimen hidrológico de un río o la seguridad de personas y bienes ubicados agua abajo, se requerirá que la construcción y operación de las instalaciones se adecue a lo que establezca la CNEE.

Para garantizar la protección de las personas y sus derechos y bienes, la CNEE elaborará las normas de seguridad de presas, las cuales incluirán todos los aspectos de diseño, auscultación, operación de presas, así como las medidas de seguridad operativa y planes de emergencia que resulten necesarias para cumplir estos objetivos.

La autorización para la construcción de una hidroeléctrica faculta a su titular para utilizar bienes de dominio público en el desarrollo de las obras comprendidas en la zona en que se desarrollará sus actividades, previo permiso de la autoridad competente.

Cuando las características del curso de agua lo requieran, o cuando haya varias presas en el mismo río, o no haya uso energético del agua, el MEM incluirá las reglas de manejo del agua específicas para cada caso. La obligación de respetar estas normas deberá establecerse en el contrato de autorización, su incumplimiento implica la anulación del mismo.

Dentro del mismo apartado se establece el mecanismo de concurso, el cual se aplica en caso de que se presenten varios interesados para solicitar la autorización definitiva para construir una central hidroeléctrica en un mismo emplazamiento, los mismos deberán competir por obtener la explotación del recurso hídrico. Para esta situación, se utilizarán los términos de referencia que elaborará el MEM. Una vez concedida la autorización, la misma tendrá carácter de exclusividad.

Se deberá firmar un contrato de autorización, en el que se debe incluir un programa de ejecución de las obras, así como la aceptación por parte del interesado del cumplimiento de las normas de seguridad de presas, manejo de agua y aceptación que el incumplimiento de las mismas conllevará la anulación del contrato. La anulación del contrato producirá en todos los casos la terminación de la autorización.

De todas las fuentes de energía renovable, la utilización de centrales hidroeléctricas son las que presentan un mayor impacto ambiental cuando se toma en consideración la infraestructura que se planea construir.

Es por esta razón que en Guatemala el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) elaboró un manual de buenas prácticas para proyectos hidroeléctricos. En la cual se detalla la legislación ambiental relacionada a la construcción de centrales hidroeléctricas. Dentro de los apartados se encuentra:

- “Regulaciones de áreas protegidas.”
 - Antecedentes y mecanismos de la ley específica de la protección al ambiente.
 - Leyes y reglamentos de relevancia.
- Conformación y estructura operativa de las áreas protegidas.
 - Procedimientos y mecanismos para declarar un área protegida.
 - Requisitos para declarar o decretar un área protegida.
- Administración y regulación en áreas protegidas.
 - Plan maestro.
 - Características del plan maestro.
- Regulaciones de proyectos de infraestructura en áreas protegidas.
 - Instrumentos jurídicos existentes para autorizar proyectos en áreas protegidas.
- Zonificación y categoría de manejo dentro de las áreas protegidas.
 - Descripción de la zonificación de áreas protegidas.
 - Zonificación.
 - Zonas críticas, de alto riesgo o amenazas.
 - Conflictos y amenazas.
- Categorías de manejo.
 - Categoría tipo I: Parque nacional y reserva biológica.
 - Categoría tipo II: Biotopo protegido.
 - Categoría tipo III: Área de uso múltiple.
 - Categoría tipo IV: Área recreativa natural.
 - Categoría tipo V: Reserva natural privada.

- Categoría tipo VI: Reserva de la biosfera.
- Asentamientos humanos.
- Otras leyes de aplicación para proyectos hidroeléctricos.
 - Decreto 68-86, ley de protección y mejoramiento del medio ambiente.
 - Acuerdo gubernativo 431-2007, directrices para la elaboración y presentación de estudios de impacto ambiental.
 - Acuerdo gubernativo 18-2001, Reglamento Interno del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).¹¹

La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente “Tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.”¹²

Dentro de sus objetivos esta el uso integral y manejo racional de las cuencas y sistemas hídricos, en consecuencia indica que el Gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad de agua para uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes para:

- Investigar y controlar cualquier causa o fuente de contaminación hídrica para asegurar la conservación de los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies.
- Velar por la conservación de la flora para el mantenimiento del sistema hídrico, promoviendo la inmediata reforestación de las cuencas lacustres, de ríos y manantiales.

¹¹ *Manual de buenas prácticas para proyectos hidroeléctricos.* p. 2.

¹² Congreso de Guatemala. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. Art. 1.

- Investigar, prevenir y controlar cualquier otra causa o fuentes de contaminación hídrica.

2.2.2. En la energía geotérmica

El uso de la energía geotérmica como fuente de energía eléctrica se rige por lo contenido en la Ley General de Electricidad de Guatemala y el Reglamento de la Ley General de Electricidad en Guatemala.

De manera específica, el reglamento en el apartado de autorizaciones para centrales generadoras del título III, establece que se requerirá autorización para la utilización de recursos geotérmicos que se ocupen para la generación de energía eléctrica, cuando la potencia instalada exceda los 5 MW.

Las autorizaciones serán definidas para el área específica solicitada. Las autorizaciones temporales para estudios se otorgarán para áreas de hasta un máximo de 10 000 km².

En las autorizaciones definitivas se procurará incluir en el área autorizada a un solo reservorio geotérmico de acuerdo con lo que técnicamente demuestren los estudios.

Varios interesados pueden solicitar la autorización definitiva de explotación de una misma área. Para esta situación, el MEM elaborará los términos de referencia para adjudicación de autorizaciones de explotación de recursos geotérmicos.

Una vez concedida, la autorización la misma tendrá carácter de exclusivo en el área específica. Se deberá elaborar el contrato de autorización, el cual debe incluir una programación adecuada de los planes de exploración, y en caso que estas produzcan un resultado satisfactorio, del desarrollo y explotación del recurso que garantice su aprovechamiento óptimo tomando en cuenta el potencial estimado del campo geotérmico. Las áreas autorizadas en forma definitiva no podrán traslaparse.

En caso que un autorizado desista de la explotación del recurso porque el mismo no resulta económicamente conveniente, deberá informarlo inmediatamente al MEM, a fin de cancelar la autorización. El abandono del área en que se establece la autorización será interpretado como equivalente a desistir al uso del recurso geotérmico y una renuncia de la autorización.

2.3. Ubicación en Guatemala

Es casi imposible adecuar totalmente los recursos naturales provistos en el país a las necesidades de la población, en consecuencia es necesario realizar investigaciones donde sea factible la instalación y operación de centrales que permitan generar energía eléctrica.

2.3.1. Campos geotérmicos

Según estudios realizados por el INDE, Guatemala cuenta con un potencial geotérmico de aproximadamente 1 000 MW. Los principales campos geotérmicos en Guatemala se muestran en la tabla IV y en la figura 6.

Tabla IV. **Campos geotérmicos en Guatemala**

Nombre	Ubicación	Potencial en MW
Zunil II	Guatemala	50
Tecuamburro	Santa Rosa	50
San Marcos	San Marcos	50
Moyuta	Jutiapa	30
Totonicapán	Totonicapán	

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el MEM y la CNEE

Actualmente estudios han demostrado que se cuenta con información geológica y geoquímicas muy atractivas en diferentes regiones. Ver tabla V.

Tabla V. **Áreas de interés geotérmicas**

Nombre	Ubicación	Temperatura en °C
Atitlán	Sololá	186
Palencia	Guatemala	204
Motagua	Zacapa	160
Ayarza	Santa Rosa	182
Retana	Jutiapa	155
Ixtepeque-Ipala	Chiquimula	155
Los Achiotes	Santa Rosa	155

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el MEM.

2.3.2. Plantas geotérmicas

Las plantas geotérmicas instaladas en los reservorios guatemaltecos, tienen una capacidad total de 62,2 MW, lo cual es escasamente el potencial previsto en Guatemala. Ver tabla VI.

Tabla VI. **Plantas geotérmicas en Guatemala**

Nombre	Ubicación	Potencial en MW	Capacidad Instalada en MW
Zunil I	Quetzaltenango	50	25,2
Ortitlán	Guatemala	200	24
Total		520	49,2

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el MEM y la CNEE.

A continuación se ilustra en un mapa el lugar donde se encuentran las centrales geotérmicas mencionadas anteriormente.

Figura 13. **Centrales geotérmicas en operación**



Fuente: Unidad de Información Pública del Ministerio de Energía y Minas, expediente No. 108-2014. p. 6.

2.3.3. Mapas hídricos

El conocimiento de la disponibilidad espacial de los recursos hídricos es esencial para el desarrollo de centrales hidroeléctricas. Esto con la finalidad de contribuir al desarrollo de la sociedad y al mismo tiempo satisface los requerimientos de conservación y fortalecimiento del sistema natural.

El compendio espacial de información hidrológica a través del mapeo de diferentes variables hidrológicas como los ríos, vertientes, cuencas y diversas instituciones a cargo de territorios específicos es un medio para facilitar el acceso fácil a la información. Los mapas registrados son:

- Mapa base de cuencas y ríos.
- Resumen de la red de estaciones hidrométricas de la república de Guatemala.
 - Red hidrométrica nacional.
 - Caudal específico medio anual.
 - Caudal específico en año húmedo.
 - Caudal específico en año seco.
 - Caudal específico en mes crítico.
 - Caudal específico en el 90 % del tiempo.
- Curvas de duración de caudales.
 - Regiones hidrológicas para la estimación de crecidas.
- Resumen de la red de estaciones meteorológicas de la República de Guatemala.
 - Red de estaciones meteorológicas.
 - ISO yetas medias anuales.
 - Números promedio de días de lluvia al año.

- Intensidad de lluvia de 5 minutos en duración y periodo de retorno de 10 años
- Intensidad de lluvia de 20 minutos de la duración y periodos de retorno de 30 años.
- Lluvia máxima diaria con periodo de retorno de 2 años
- Lluvia máxima diaria con periodo de retorno de 10 años
- Lluvia máxima diaria con periodo de retorno de 30 años
- Resumen de parámetros morfométricos y de las cuencas de Guatemala
 - Disponibilidad del recurso hídrico superficial.

Todos los mapas es posible identificarlos en el atlas hidrológico proporcionado por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

2.3.4. Hidroeléctricas

Las hidroeléctricas en Guatemala están posicionadas estratégicamente para el óptimo aprovechamiento de los recursos hídricos. Ver tabla VII.

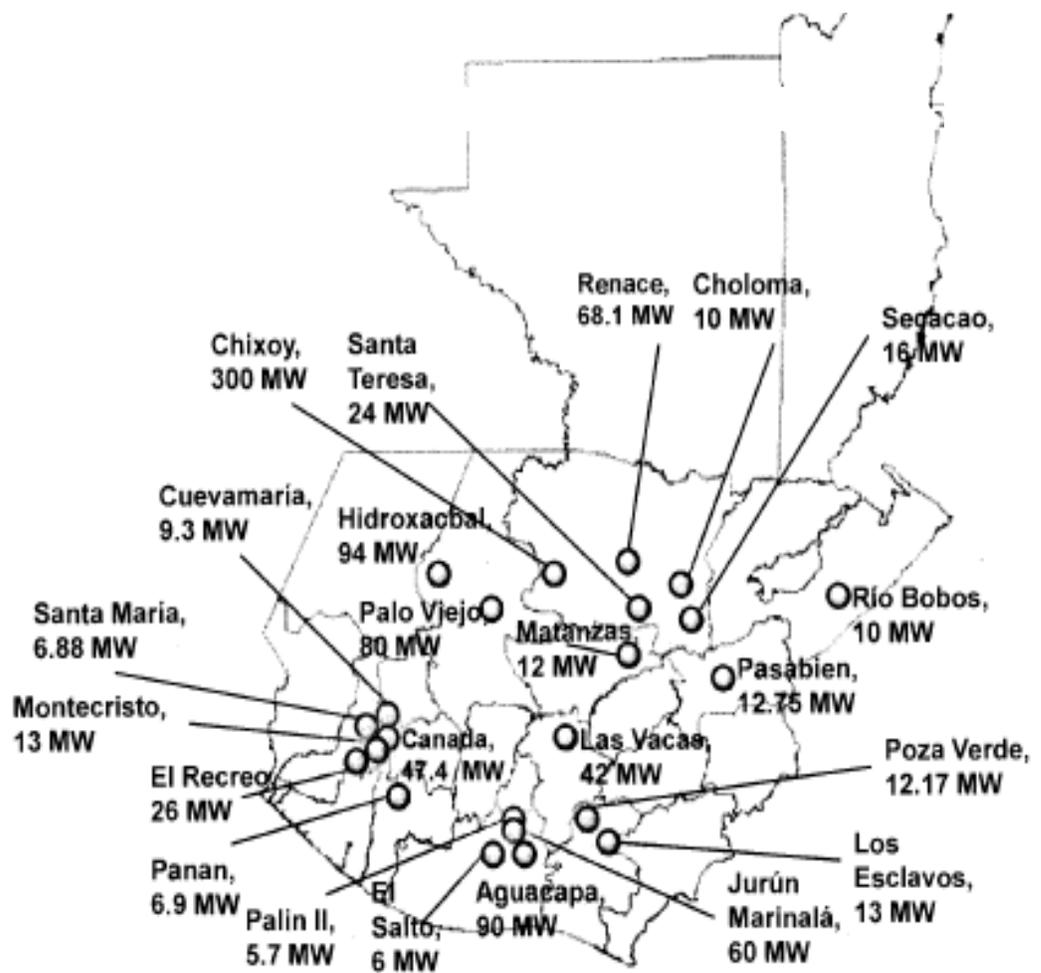
Tabla VII. **Hidroeléctricas con un aporte mayor a 5 MW y su ubicación en coordenadas UTM**

Nombre de hidroeléctrica	Capacidad en MW	Departamento	Coordenadas UTM		
			Este	Norte	HUSO
Aguacapa	90,00	Escuintla	769 074,2	1 581 365	15P
Chixoy	300,00	Alta Verapaz	768 461,7	1 690 879	15P
Cholomá	10,00	Alta Verapaz			
Covadonga	16,00	Retalhuleu			
Cuevamaría	9,30	Quetzaltenango			
Del Canadá	47,00	Baja Verapaz	658 931,9	1 527 598	15P
El recreo	20,70	Quetzaltenango	656 136,9	1 622 297	15P
Entre Ríos	8,25	Alta Verapaz			
Hidro Xacbal	94,00	Quiché	705 280	1 727 720	15P
Jurún Marinalá	60,00	Escuintla	746 843,7	1 582 017	15P
Las Vacas	40,00	Guatemala	768 825,5	1 633 403	15P
Los Esclavos	15,00	Santa Rosa	793 841,5	1 577 484	15P
Matanzas	12,00	Baja Verapaz	801 953,5	1 672 013	15P
Montecristo	13,00	Quetzaltenango			
Palin 2	5,80	Escuintla	747 531,1	1 593 356	15P
Palo Viejo	84,00	Quiché	729 574,5	1 714 004	15P
Panan	6,90	Suchitepéquez	676 223,5	1 610 570	15P
Pasabien	12,80	Zacapa	208 529	1 666 945	16P
Poza Verde	12,17	Santa Rosa	773 606,7	1 584 216	15P
Renace	68,10	Alta Verapaz	796 408	1 714 274	15P
Río Bobos	10,00	Izabal	1 699 300	314 700	16P
Santa María	6,88	Quetzaltenango	658 020,7	1 528 148	15P
Santa Teresa	24,00	Alta Verapaz	804 674,6	1 693 443	15P
Santiaguito	47,40	Quetzaltenango			
Secacao	16,50	Alta Verapaz	201 717,7	1 705 449	16P
Total	1 029,80				

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el MEM y la CNEE.

A continuación se muestran la ubicación geográfica de las hidroeléctricas registradas en la base de datos de la CNEE que tienen una capacidad mayor a 5 MW. Ver figura 14.

Figura 14. **Hidroeléctricas operación con una potencia mayor a 5 MW**



Fuente: Unidad de Información Pública del Ministerio de Energía y Minas, expediente No. 108-2014. p. 4.

Dado que la generación de electricidad en Guatemala es libre según la Constitución, estas hidroeléctricas por su pequeña capacidad solo debieron registrarse en la Dirección General de Energía adjuntando un estudio de evaluación de impacto ambiental y la resolución emitida por el MARN. Ver tabla VIII.

Si estos generadores se conectan a instalaciones de distribución, se les considera como un Generador Distribuido Renovable (GDR), que son las personas individual o jurídica poseedora de una central de generación eléctrica que utiliza recursos energéticos renovables. La GDR aplica tanto para energía geotérmica como para energía hidráulica.

Estos también pueden ser considerados como participantes del mercado mayorista. Dichos generadores se apegan a la Norma Técnica para la Generación Distribuida Renovable (NTGDR).

Tabla VIII. **Hidroeléctricas con un aporte inferior a 5 MW y su ubicación en coordenadas UTM**

Nombre de hidroeléctrica	Entidad propietaria	Potencia en MW	Coordenadas UTM		
			Este	Norte	HUSO
Cerro Vivo	Compra de materias Primas	2,40	Sin registro		
Luarca	Constructoras S&M	0,51	Sin registro		
Jesbon Maravillas	Corporación Jesbon	0,75	Sin registro		
Los Cerros	Energía Nacional, S. A.	1,25	Sin registro		
El Prado	Generadora el Prado	0,50	Sin registro		
Candelaria	Grupo Secacao	4,60	Sin registro		
San Jerónimo	Hidro San Jerónimo, S. A.	0,20	Sin registro		
Sac-Ja	Hidroeléctrica Sac-Ja, S. A.	2,00	Sin registro		
Hidropoder SDMM	Hidropower SDDM	2,16	Sin registro		
Perla	Hidrosacpur	3,70	Sin registro		
Chichaic	INDE	0,60	7 777 798	1 708 059	15P
El porvenir	INDE	2,28	614 457.3	1 655 476	15P
El Salto	INDE	2,00	742 661.7	1 585 615	15P
Kaipan Chapina	Kaplan Chapina	2,00	Sin registro		
Finca Las Margaritas	Oscana	0,44	Sin registro		
Santa Elena	Servicio en Generación	0,16	Sin registro		
San Joaquín	Servicios de agua "La Corona"	0,95	Sin registro		
San Isidro	Tecnoguat S. A.	3,92	809 812	1 671 182	15P
El Capulin		3,50	Sin registro		
Total		33,92			

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por MEM y CNEE.

2.4. Generación de energía hidráulica en Guatemala

Desde la creación de un marco legislativo y sus reformas, la explotación de los recursos hidráulicos ha avanzado en gran medida tanto para el sector público como para el sector privado.

La participación del sector público (EGEE / INDE) en la generación de energía eléctrica cuya fuente de energía es la energía hidráulica, corresponde a un 45 % del total, en contraparte el sector privado predomina con un 55 % el cual incluye a los que tienen una capacidad mayor y menor a los 5 MW.

2.5. Generación de energía geotérmica en Guatemala

La explotación de los recursos geotérmicos se ha visto aprovechada mayormente por entidades privadas, teniendo estas una participación del 51 % en el mercado, en contra posición de un 49 % que maneja el INDE.

3. DESARROLLO DEL SECTOR CIENTÍFICO TECNOLÓGICO

La instalación de centrales geotérmicas o hidráulicas requiere de una serie de etapas que siguen un orden lógico que permiten obtener garantías del éxito de la explotación del recurso geotérmico o hídrico.

Estas etapas conllevan una serie de estudios que permiten recolectar información para medir el potencial del reservorio geotermal o bien de un río, pues deben identificarse una serie de parámetros que requieren de la contribución de diferentes ramas científicas apoyadas en tecnologías para obtener datos concretos.

3.1. Medición de la energía geotérmica

Si bien la dimensional de energía es el Joule, querer medir la energía geotérmica con un solo parámetro resulta imposible, pues la medición de la energía geotérmica requiere de una serie de estudios e investigación para identificar que el campo geotérmico es un recurso económico, ambiental y técnicamente factible. La amplitud y complejidad de cada uno de los estudios serán directamente proporcionales al tipo de recurso geotérmico que se tenga intención de explotar.

En campos geotérmicos de muy baja temperatura, más que investigar la forma de localizar el recurso, lo que se investiga es cuál es la mejor forma de explotarlo para que, sin llegar a agotarlo, pueda satisfacer la demanda energética que se necesita para mantener el control térmico en el interior de los edificios a los que va a proporcionar servicio.

Los estudios previos necesarios para aprovechar el recurso podrán ser muy simples o muy complejos, dependiendo de la potencia que se tenga que suministrar, del tipo de instalación que tenga que extraerlo, de las horas de funcionamiento anual y de la modalidad de demanda, es decir si se planea usar para calefacción, refrigeración o producción de agua sanitaria.

Dentro de las instalaciones utilizadas para los campos geotérmicos de muy baja temperatura se puede mencionar:

- Colectores horizontales enterrados
- Sondas geotérmicas
- Sondeos de captación de agua someras
- Cimientos geotérmicos

Dentro de los estudios requeridos para identificar la factibilidad de la explotación de los recursos para las instalaciones mencionadas se puede indicar:

- Conductividad térmica del terreno. Para identificar la potencia de extracción que es proporcional a la conductividad térmica.
- Humedad natural de suelo. Para mejorar la conductividad térmica y garantizar un buen contacto entre sonda y suelo.
- Presencia o ausencia de aguas subterráneas. Cuando una sonda geotérmica penetra en una capa freática, o en un acuífero somero, en los que el agua presenta una velocidad de flujo superior a varios centímetros por día, la cantidad de calor útil aumenta sensiblemente.
- Características geotécnicas de los estratos del subsuelo.
- Nivel de la capa freática, oscilaciones anuales, dirección y velocidad del flujo (en caso lo haya).

- Características del terreno necesarias para definir el potencial geotérmico.
 - Capacidad térmica volumétrica
 - Conductividad térmica
 - Permeabilidad
- Existencia o ausencia de manantiales cercanos o construcciones subterráneas que desvíen o calienten las aguas freáticas
- Temperatura anual
 - Máxima
 - Mínima
 - Media
- Distribución mensual y semanal del consumo de energía en calefacción y refrigeración, así como sus rendimientos máximos.

En el caso de recursos geotérmicos de baja temperatura, ocurren circunstancias que limitan su explotación comercial y consecuentemente su investigación. La primera circunstancia es que no contienen vapor de agua, solo proporcionan calor, que ha de dirigirse a usuarios muy localizados, que no disten más de unos pocos kilómetros del la central donde se extrae el agua caliente.

La segunda es que los acuíferos profundos en los que se ubican suelen estar cargados de sales, por lo que para preservar el medio ambiente es necesario reinyectar el agua usada otra vez al acuífero una vez extraído el calor. Estas condiciones hacen que, aunque sus posibilidades de utilización sean amplias, su mayor consumo se circunscriba a una calefacción urbana en ciudades con el recurso en el propio subsuelo, y a establecimientos de baños termales.

Las fases, etapas y objetivos de una investigación para medir la energía geotérmica de un recurso de baja temperatura se muestra en la tabla IX.

Tabla IX. **Investigación de recursos de baja temperatura**

Fase	Finalidad	Etapas	Objetivos	Técnicas empleadas
Documentación. Estudios geológicos e hidrológicos	Seleccionar y evaluar los objetivos de explotación	Documentación	Antecedentes	Geológica, geofísica e hidrogeología
			Planificación de etapas	
		Evaluación de información y selección de áreas	Definir los almacenes explotables	Geología, hidrodinámica, hidroquímica, evaluación de almacenes
			Seleccionar puntos favorables	
Definir el modelo geotérmico				
Estudio de almacenes	Confirmar las hipótesis geológicas y definir condiciones de extracción del recurso	Perforación de sondeos profundos	Confirmar el modelo previsto	Sondeos profundos, digrafías, pruebas de producción y ensayos sobre testigo
			Seleccionar almacenes	
		Evaluación del yacimiento	Establecer características hidráulicas del almacén	Bombeo de larga duración, diagramas, evaluación de almacenes, hidroquímica
			Estimar las características hidráulicas del almacén	

Continuación de la tabla IX.

Viabilidad tecnológica económica	Definir las condiciones de utilización y estudiar la viabilidad económica de la explotación	Estudio térmico	Elegir los usuarios Definir el aporte geotérmico y seleccionar el sistema	Estudios de mercado, análisis energético del sistema de utilización
		Balance energético, económico y financiero	Definir los parámetros económicos	Análisis energético, cálculo de inversiones y costes, estudios de financiación
		Montaje jurídico y administrativo.	Definir el modelo de empresa explotadora y modo de operación	Estudios jurídicos y de mercado.

Fuente: LLOPIS TRILLO, *Guillermo. Guía de la energía geotérmica.* p. 72.

La investigación geológica para los recursos de media temperatura se realizará siguiendo las mismas pautas de fases y etapas, y con las mismas técnicas que se han expuestos para los yacimientos de baja temperatura. Además habrá que añadir otra fase, la de construcción de una planta de ciclo binario para producción de energía eléctrica, pues este es el mayor atractivo de este tipo de recursos, en la que se aprovechará el agua caliente extraída del pozo antes de destinarlo a usos domésticos, industriales o agrícolas relacionados con el calor.

Aunque son plantas de pequeña capacidad, cuentan a su favor con que son de pequeñas dimensiones y de fácil implantación, además si las características del yacimiento lo permiten, pueden ser ampliadas de forma modular.

Para los recursos de alta temperatura se requieren de estudios más exhaustivos y amplios, entre ellos se puede mencionar los estudios geológicos que ayudan a mostrar las condiciones estructurales y estratigráficas que suelen caracterizar áreas cubiertas por domos, grabens y calderas que se consideren prospectos de recursos geotérmicos.

La fotografía aérea por satélite y la imaginación son muy importantes en la investigación geológica para identificar fallas y vulcanismos recientes. De los muchos métodos geofísicos que pueden emplearse, la medición del gradiente geotérmico y la determinación del flujo de calor de aguas someras son los más valiosos.

Debe tenerse cuidado al extrapolar los datos para mayores profundidades, así como con la migración de agua subterránea, pues esta puede introducir serias discrepancias; no obstante, el método es directo al esbozar anomalías térmicas.

Las rocas calientes saturadas con aguas salinas tienen poca resistividad eléctrica. Estas últimas son características de los sistemas denominados por la temperatura elevada; para delinear su tamaño son útiles los métodos eléctricos y electromagnéticos.

En varios campos geotérmicos de alta temperatura se han realizado estudios sísmicos pasivos, incluyendo el de ruido del suelo. Este método implica el registro de micro terremotos que parecen generar muchos depósitos geotérmicos. La actividad probablemente se deba a la naturaleza de los depósitos con muchas fallas y su asociación con regiones sísmicamente inestables.

Por otro lado, los estudios de ruido en campos geotérmicos registran señales acústicas dentro de un estrecho intervalo de amplitud y frecuencia. Los resultados sugieren fuertemente que los sistemas geotérmicos individuales producen señales características que se relacionan con la profundidad del depósito y los gradientes de temperatura. Si se puede demostrar la confiabilidad de este método, podría llegar a ser muy importante en la exploración geotérmica debido a su simplicidad y ahorro económico.

Los estudios sísmicos activos generan y registran ondas sísmicas producidas por explosiones o golpes, son útiles para determinar estructuras subsuperficiales y fallas. El uso del método de reflexión o de refracción depende de cuál sea el más adecuado para una localidad y un problema particular.

Un trabajo reciente indica que puede haber atenuación de las ondas sísmicas en los sistemas geotérmicos. El desarrollo adicional de este procedimiento puede incrementar la utilidad de las investigaciones sísmicas activas de recursos geotérmicos.

Los estudios magnéticos implican la medición de las propiedades magnéticas de las rocas subyacentes. Las anomalías magnéticas positivas frecuentemente están asociadas con rocas intrusivas, y las negativas ocurren con rocas en las cuales los minerales magnéticos han sido alterados por fluidos geotérmicos.

Por lo tanto, un estudio magnético parecería útil para buscar depósitos geotérmicos, pero surgen tantos factores que complican la interpretación de los resultados.

Las investigaciones geoquímicas con isótopos sobre muestras de agua de manantiales y fluidos geotérmicos tienen como objetivo identificar ciertos constituyentes o proporciones de estos constituyentes, dado que pueden emplearse para indicar probables temperaturas del depósito de sistemas dominados por líquido.

El contenido de sílice y la proporción de sodio, potasio y calcio son los mejores indicadores. Un contenido alto de cloruro en manantiales sugiere que el sistema es dominado por líquido. Se dice que los manantiales asociados con sistemas dominados por vapor tienen un pobre contenido de cloruro. La investigación se detalla en la tabla X de la página siguiente.

El análisis de hidrógeno y oxígeno por isótopos en aguas geotérmicas es un medio para determinar el origen de dichas aguas. Se sabe ahora que los fluidos geotérmicos son de origen meteórico, y cualquier adición volcánica o magmática es mínima.

Por este método pueden evaluarse las características hidrológicas de una zona relativa a la de recarga de agua de un depósito geotérmico. Ninguno de estos métodos de exploración puede probar la existencia o el tamaño de un depósito geotérmico. Solo la perforación de pozos profundos y el ensayo del producto hallado determinarán si puede realizarse explotación y empleo exitoso.

Tabla X. **Investigación recursos geotérmicos de alta temperatura**

Fase	Superficie a investigar	Estudio o Tarea	Objetivos
Reconocimiento	Más de 10 000 km ²	Modelos conceptuales	Localizar las áreas con mejores posibilidades de albergar un almacén
		Geología	
		Geoquímica	
		Hidrogeología	
Previabilidad	500 a 2 000 km ²	Geología	Determinar el modelo geotérmico preliminar y seleccionar la ubicación de los pozos de investigación
		Geoquímica	
		Geofísica	
		Hidrogeología	
		Sondeos someros	
Viabilidad	10 a 15 km ²	Sondeos exploratorios	Verificar las características del yacimiento
		Estudios del reservorio geotermal	Determinar la conveniencia técnica y económica de su explotación
Desarrollo		Pozos de explotación	Crear las condiciones para una correcta explotación del yacimiento
		Sistema de conducción	
		Diseños de la planta	
Explotación		Funcionamiento de la planta	Optimizar el rendimiento de la planta
		Control del campo geotermal	

Fuente: LLOPIS TRILLO, Guillermo. Guía de la energía geotérmica. p. 76.

3.2. Medición de la energía hidráulica

Al igual que la energía geotérmica, la energía hidráulica conlleva una serie de investigaciones para definir de manera concreta si el recurso se explotará o no. Una central hidroeléctrica requiere de estudios con el fin de identificar los posibles aprovechamientos hídricos y seleccionar el más viable.

Posteriormente se realizan estudios de pre factibilidad en el caudal, se estudia el tipo de diseño y construcción, después viene una investigación en la cual se realizan otros estudios técnicos de la central. Después de identificada la fuente hídrica se realizan estudios en la parte técnico económica con el propósito de obtener la viabilidad por parte de los inversionistas.

Dentro de los estudios es posible mencionar el estudio hidrológico pluviométrico, el cual se encarga del estudio hídrico de la fuente y es el que determina el caudal de diseño de la central, para el estudio hídrico se debe llevar una estadística de las fluctuaciones hídricas durante varios años para tener una idea del comportamiento de este. Pero como no hay muchos estudios hídricos de la fuente se recurre a la medición pluviométrica de las precipitaciones en las regiones donde estará la central hidroeléctrica, para estudiar el caudal de la cuenca que alimenta el río.

Dado que el principio de una central hidroeléctrica es aprovechar la energía potencial la cual se transforma en energía cinética y ésta en eléctrica; para obtener una buena cantidad de energía potencial se requiere de una caída de agua relativamente grande y para saber esto se realizan estudios de mapas cartográficos de la región, cuando hay estudios cartográficos se recurre a estudios topográficos que permitan obtener los datos necesarios para conocer la caída o cabeza de agua y así poder determinar el potencial hidroeléctrico de la fuente.

La ubicación y adecuación de las obras civiles se hace en relación con la estabilidad de los terrenos y las posibles fallas geológicas que este contenga, para lo cual se realiza un estudio geotécnico, que permite definir el diseño y la construcción de la central ya que permite a los diseñadores tener una idea de que riesgos geológicos deben tener presentes a la hora de diseñar.

Los datos que deben conocerse para cada uno de los componentes de una central hidroeléctrica se muestran a continuación.

- Tomas de agua
 - Caudal a captar
 - Ancho del río
 - El nivel mínimo en épocas de sequía
 - Coeficiente de derrame en función del material de la barra
 - El caudal tomado por la bocatoma
 - La altura inicial del agua
 - El coeficiente de derrame en la rejilla
 - El ancho total del vertedero
 - La longitud de la rejilla
- Canal
 - Área del canal
 - Perímetro mojado
 - Gradiente hidráulico, el cual es el ángulo entre el peso del agua y el flujo de esta.
 - Caudal
- Desarenador
 - Caudal del diseño
 - Área del canal
 - Velocidad del agua en el canal
 - Área del desarenador
 - Velocidad del desarenador
- Tanque de presión
 - Caudal de diseño
 - Altura total de la central hidroeléctrica
 - Altura de la conducción

- Diámetro de la tubería
- Longitud de la tubería de presión.
- Aliviadero
 - Tipo y ancho de canal
 - Calado del canal
 - Coeficiente de rugosidad del canal
 - Gradiente del canal
 - Talud del canal
 - Caudal de diseño
 - Caudal del vertedero
 - Caudal captado
- Tubería de presión
 - Diámetro de la tubería
 - Valor anual por amortización y mantenimiento de la tubería
 - Valor anual por amortización y mantenimiento
 - Valor anual de las pérdidas por energía por fricción, el cual está dado por el número de horas que trabaja con un factor de carga.
- Dimensiones preliminares de las turbinas
 - Velocidad del chorro a la salida del inyector
 - Diámetro del chorro
 - Diámetro Pelton
 - Velocidad específica
 - Número de cucharas
 - Altura del montaje mínimo
- Alternador
 - Diámetro del estator
 - Longitud del conductor magnético activo
 - Velocidad sincrónica
 - Potencia del generador

3.3. Capacidades

La capacidad científica y tecnológica de cada país tiene una relación directa con su bienestar económico y social, por otra parte, la productividad y la atención de problemas de interés nacional también se ven incrementados considerablemente. Por ello, países considerados del primer mundo incrementan la inversión en ciencia y tecnología, la formación de recursos humanos de alto nivel, así como la infraestructura científica.

3.3.1. Científicas

La capacidad científica surge a través de la investigación y desarrollo, lamentablemente Guatemala es el país que menos invierte en dicho rubro en Centroamérica, esto se debe a que en Guatemala no existe una cultura científica y se estimula muy poco por parte de las universidades e instituciones que se dedican a fomentar esta área, tales como CONACYT y SENACYT.

Muchos de los fondos de investigación provienen del exterior, pues en el 2007 el 43,4 % del dinero dedicado a la investigación provino de fuentes extranjeras, el 37,9 % del estado y el 18,7 % de las universidades. Según el Banco Mundial, Guatemala invirtió únicamente el 0,06 % del PIB en 2007, abarcando investigación básica, investigación aplicada y el desarrollo experimental en el 2008 y 2009. Todos los hechos mencionados hasta ahora, tienen como consecuencia que muchas de las investigaciones relacionadas el aprovechamiento de recursos tanto hídricos como geotérmicos sean elaborada por entidades extranjeras interesadas en el aprovechamiento de estos y es posible comprobarlo verificando la participación del sector privado y público en la matriz energética.

Las únicas instituciones gubernamentales que contribuyen realizando investigaciones periódicas sobre fenómenos que inciden de manera directa en los recursos geotérmicos e hídricos es el INSIVUMEH, MEM y el INDE.

3.3.1.1. Geotérmicas

ORMAT y otra empresa canadiense son las instituciones que se encargan del estudio de reservorios geotermales para su explotación y/o mantenimiento en relación al sector privado. Tanto el INDE como el MEM han contribuido en la búsqueda de nuevos recursos renovables, con el propósito de incentivar la inversión en este tipo de proyectos energéticos en el país. El INSIVUMEH es el ente encargado de monitorear diversos factores que tienen una relación directa con los recursos geotérmicos, entre los cuales se puede mencionar:

- Geofísica
 - Sismología
 - Vulcanología
 - Geología
- Mapas de amenaza
 - Sísmica
 - Deslizamientos
 - Volcánicos
- Información de volcanes
 - Volcanes de Guatemala
 - Volcán de Fuego
 - Volcán de Pacaya
 - Composición química del los volcanes
- Boletines geofísicos

3.3.1.2. Hidráulicas

Como se ha mencionado, muchas de las investigaciones para la explotación de recursos hídricos son llevados a cabo por organizaciones extranjeras interesadas, sin embargo, el INSIVUMEH ha jugado un papel de vital importancia en la identificación de los recursos hídricos con los que cuenta el país. Parte de la tarea de esta organización es la investigación de:

- Hidrología
 - Ríos de Guatemala
 - Lagos de Guatemala
 - Estaciones hidrológicas
- Boletines hidrológicos
 - Niveles de alerta de los ríos
 - Cuencas y nubosidad
 - Boletines hidrológicos mensual
 - Boletines sobre calidad de agua
- Atlas hidrometeorológico
 - Atlas hidrológico¹³
 - Atlas climatológico
 - Mapas de inundaciones

3.3.2. Tecnológicas

La capacidad tecnológica está constituida por el conjunto de conocimientos y habilidades aplicadas en el proceso de producción.

¹³ Ver el apartado de Mapas hídricos del segundo capítulo

Sus bases están en la capacidad científica puesto que abarca desde los conocimientos científicos acumulados de las fuentes de energías empleadas, las formas de extracción de reservas naturales, su procesamiento, transformación y el desempeño de los productos finales resultantes; en 3ste caso energía eléctrica. Por lo tanto, se trata de un factor de producción que envuelve todo el proceso productivo, en todas sus etapas.

3.3.2.1. Geotérmicas

La forma en que se extrae la energía geotérmica es diversa y esto se debe a que existe una gran cantidad de aplicaciones de este tipo de energía. Específicamente para la generación de energía eléctrica, en Guatemala se emplean los métodos convencionales para su extracción, es decir a través de una planta geotérmica con la tecnología acorde al reservorio identificado.

En relación a la tecnología que se utiliza en las plantas geotérmicas, es posible identificar que la planta de Zunil I tiene una planta de ciclo binario¹⁴ contando con dos pozos geotermales disponibles para su explotación Zunil I y Zunil II, este último aún no ha sido explotado.

Por otra parte la planta de Calderas, cuenta con tres pozos donde se han realizado perforaciones llamados:

- “AMF-1: con una temperatura de 280 °C
- AMF-2: con una temperatura de 295 °C
- AMF-3: con una temperatura de 231 °C”¹⁵

¹⁴ La definición del ciclo binario se encuentra en el apartado 1.1.5. Tipos de plantas geotérmicas.

¹⁵ CAMPOS PAIZ, Julio Cesar. *Sistema de bombeo de reinyección del agua de condensado del vapor de planta geotérmica calderas*. p. 1.

El tercer pozo mencionado cuenta con buenas características para la reinyección del agua condensada proveniente del vapor utilizado, es decir que esta planta utiliza el que se extrae directamente, no necesitando un fluido de trabajo a diferencia de la planta geotérmica de Zunil I.

Finalmente, en relación al desempeño de la electricidad proporcionada por estas plantas geotérmicas, esta a criterio de la CNEE puesto que es ente regulador a cargo de dicha gestión. Sin embargo, estos cuentan con demanda por parte de los diferentes agentes del AMM es posible deducir que si cumplen con los estándares de calidad establecidos.

3.3.2.2. Hidráulicas

A pesar de que existen al menos tres formas de aprovechar la energía hidráulica¹⁶, la mayoría de las hidroeléctricas construidas en el país utilizan una presa para generar un embalse, esto se debe a que en Guatemala existen una temporada lluviosa y una seca, en consecuencia se almacena agua para estar preparados durante la escasez del fluido.

Además, la maquinaria que se utiliza en una planta de este tipo proviene de diferentes países debido a que en Guatemala no existe empresa que fabrique toda la instrumentación necesaria, incluso algunas presas son ordenadas a consultoras americanas con más experiencia en el campo, tal es el caso de la hidroeléctrica de Los Esclavos.

En relación a las turbinas, a pesar de que no existen muchas, en Guatemala es posible identificar gran diversidad de estas. Ver tabla XI.

¹⁶ Ver capítulo I, información sobre los antecedentes de la energía hidráulica.

Tabla XI. **Descripciones técnicas de hidroeléctricas registradas por la CNEE**

Hidroeléctrica	Tipo de turbina	Tipo de presa
Del Canadá	Pelton	Concreto estructural
Chichaic	Francis de eje horizontal	Concreto estructural
Chixoy	Varios	Materiales sueltos con núcleo de arcilla
El Chapulín	Pelton	Concreto estructural
El Porvenir	Pelton de eje horizontal	Concreto estructural
El Recreo	Pelton	Bases de hormigón y compuertas semicirculares de acero tipo abatibles
El Salto	Francis de eje horizontal	Concreto estructural
Jurún		
Marinalá	Pelton de eje horizontal	Concreto estructural
La perla	Pelton	Concreto estructural
Las Vacas	Pelton de eje horizontal	Concreto estructural
Los Esclavos	Varios	Concreto estructural
Matanzas	Varios	Concreto estructural
Palín II	Francis de eje horizontal	Concreto estructural
Palo Viejo	Francis de eje horizontal	Concreto estructural
Panán	Francis de eje vertical	Concreto estructural
Pasabién	Pelton	Concreto estructural
Poza Verde	Francis eje vertical con biela de seguridad	Concreto estructural
Renace	Francis	Concreto estructural
Río Bobos	Pelton	Concreto estructural
San Isidro	Pelton de eje vertical	Concreto estructural
Santa María	Varios	Curvatura simple
Santa Teresa	Varios	Concreto estructural
Secacao	Pelton de eje horizontal	Concreto estructural
Xabal	Francis	Concreto estructural

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por MEM.

3.4. Comunicación y colaboración

La participación de instituciones tanto públicas y privadas como nacionales e internacionales ha jugado un papel de vital importancia, en el proceso para modificar la forma en que Guatemala genera energía eléctrica para satisfacer la demanda de los diferentes sectores.

Es posible apreciar que a medida que existe una mayor interacción entre el sector público a través de políticas estratégicas y el sector privado a través de inversiones, se han logrado avances que permiten no solo la provisión del servicio de energía eléctrica sino también de una reducción de costos asociados y en consecuencia también del precio del kWh, son estas las razones que marcan la importancia del papel que juegan todas las instituciones relacionadas en pro de la modificación de la matriz energética.

3.4.1. A nivel nacional

Dado que el MEM es la institución encargada de establecer las políticas energéticas para el país, no es de extrañar que también tenga una participación activa en la comunicación y colaboración. Esta institución se encarga tomar medidas estratégicas para modificar la matriz energética, dentro de las estrategias se puede mencionar:

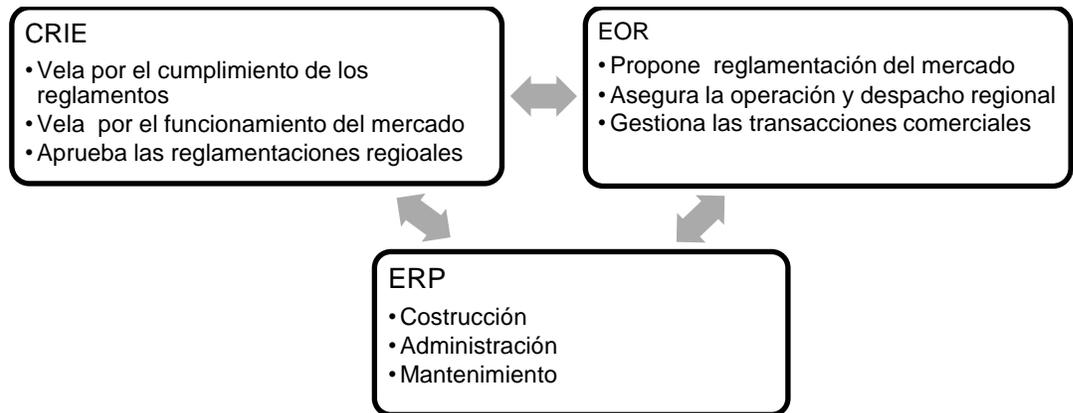
- Actualización de los reglamentos de la Ley General de Electricidad y AMM.
- Promoción de fuentes de energía renovables:
 - Generación distribuida: normativa de pequeñas centrales de generación con fuentes renovables.
 - Expansión y acceso a la red de transmisión

- Abordar la barrera de oposición de los proyectos hidroeléctricos.

Por otra parte, el Mercado Eléctrico Nacional (MER) juega un papel importante ya que es la actividad permanente de transacciones comerciales de electricidad, intercambios de corto plazo derivados de un despacho de energía con criterio económico regional y contratos de mediano o largo plazo. Quienes participan en el MER son los agentes del mercado mayorista y los entes regionales involucrados son:

- Comisión de Interconexión Eléctrica Regional (CRIE): es la entidad encargada de la regulación, vigilancia y control de MER.
- Ente Operador Regional (EOR): es el organismo encargado de operar el MER, asegurando que la operación y el despacho regional de energía sea realizado con criterio económico, seguro, de calidad y confiabilidad.
- Empresa Propietaria de la Red (ERP): se encarga de desarrollar, diseñar, financiar, construir y mantener un primer sistema el cual es el Sistema de Interconexión Eléctrica para los Países de América Central (SIEPAC). Gestiona la infraestructura de SIEPAC con competitividad, seguridad, confiabilidad, calidad, armonía con el medio ambiente y con criterios de responsabilidad social.

Figura 16. Estructura del MER



Fuente: elaboración propia con base en informe energético del MEM 2006.

3.4.1.1. Geotérmica

Dentro de las iniciativas del MEM se encuentra preparar una cartera de proyectos geotérmicos. Por otra parte el INDE dentro de su portal hacer ver que es el administrador de la planta geotérmica de las Calderas ubicada en el departamento de Guatemala, específicamente en Amatitlán. La participación de centrales geotérmicas en el MER se rige acorde a las normas establecidas por dicha institución.

3.4.1.2. Hidráulica

Las estrategias creadas por el MEM permiten la actualización de los reglamentos acorde a las necesidades contemporáneas de su modificación, pero más importante aún, toman en consideración el impacto social que tiene la construcción de centrales hidroeléctricas al abordar las barreras de oposición hacia este tipo de proyectos.

En Guatemala es muy común la oposición hacia la construcción de centrales hidroeléctricas, esto se debe a la falta de comunicación existente entre la sociedad y las diferentes instituciones que se relacionan con la construcción de este tipo de proyectos.

Otro aspecto es la falta de percepción en materia de información por parte de los manifestantes, pues la falta de información genera temor ante el cambio, aún cuando este es positivo. Es por esta razón que el acercamiento de instituciones como el MEM ante la población jugará un papel de vital importancia ante el cambio del parque eléctrico en Guatemala. La participación de centrales hidroeléctricas en el MER se rige acorde a las normas establecidas por dicha institución.

3.4.2. A nivel internacional

Las contribuciones internacionales se caracterizan en esencia porque provienen en su mayoría por entidades del sector privado. A pesar de ello, el Gobierno actual con el propósito de fomentar la inversión en el país realizó un foro económico en el cual mostró el potencial energético de Guatemala.

Las universidades también han contribuido al realizar congresos sobre energías renovables donde ponentes de diferentes países contribuyen al desarrollo académico de los asistentes.

Por otra parte, el 30 de diciembre de 1996 se suscribió entre los Gobiernos de las Repúblicas de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá el tratado macro del mercado eléctrico de América Central, con los siguientes principios de competencia, gradualidad y reciprocidad, sus fines son:

- Establecer los derechos y obligaciones de las partes
- Establecer condiciones para el crecimiento del MER, para abastecer en forma oportuna y sostenible la electricidad requerida para el desarrollo económico y social.
- Incentivar la participación del sector privado
- Impulsar la infraestructura necesaria para el desarrollo del MER
- Crear condiciones necesarias sobre calidad confiabilidad y seguridad en el suministro de energía eléctrica.
- Establecer reglas transparentes y no discriminatorias para regular el funcionamiento del MER.
- Propiciar el desarrollo de la región.

A raíz de este tratado surge el proyecto SIEPAC que consiste en la ejecución del primer sistema de transmisión eléctrica regional de 230 kW, que reforzará la red eléctrica de América Central. El proyecto SIEPAC tiene dos objetivos principales:

- Apoyar la formación y consolidación progresiva de un mercado eléctrico regional mediante la creación y establecimiento de los mecanismos legales, institucionales y técnicos apropiados para facilitar la participación del sector privado en el desarrollo de las adiciones de generación eléctrica.
- Establecer la infraestructura de interconexión eléctrica (líneas de transmisión, equipos de compensación y subestaciones) que permitan los intercambios de energía eléctrica entre los participantes del MER.

Estos tratados fomentan a los inversionistas para proyectos geotérmicos e hidráulicos debido a la amplían la demanda, puesto que a través del SIEPAC es posible la exportación de energía eléctrica.

Actualmente, Guatemala firmará acuerdos para la integración eléctrica mesoamericana, sumándose así al interés de nueve naciones que promueven el comercio y la integración energética regional para fomentar el crecimiento económico, con el objetivo de suministrar a todos sus habitantes el acceso al flujo eléctrico de forma sustentable, confiable y barata.

3.4.2.1. Geotérmica

En relación a energía geotérmica, Guatemala cuenta con el apoyo de países líderes en la generación de energía eléctrica a nivel internacional, tal es el caso de Estado Unidos de Norteamérica. Por parte de MEM y CNEE se han enviado a ingenieros expertos en la materia para trabajar e identificar las barreras que pueda haber y formulación de ideas sobre cómo solucionar los problemas del sector.

Dentro de los temas se discutió las barreras de tipo político¹⁷ porque son las instituciones gubernamentales las que toma o no la decisión de que un área sea una fuente energética, pero también hay otras barreras como las técnicas para la exploración de áreas a través de la perforación de pozos entre otros.

3.4.2.2. Hidráulica

Durante el Gobierno 2012-2016 se ha realizado una discusión con el Gobierno de México, en la cual se discutió la posibilidad de implementar cuatro hidroeléctricas en el río Usumacinta cuyo cauce transita en ambos países, estas hidroeléctricas podrían llegar una capacidad de 800 MW.

¹⁷ Las barreras políticas se detallan en el capítulo 2, específicamente en los apartados relacionados a energía geotérmica.

Este y otros proyectos muestra el interés de Guatemala y otros países en fortalecer las relaciones diplomáticas y económicas existentes, de implementarse un proyecto de esta magnitud, la hidroeléctrica Chixoy dejaría de ser la más grande del país.

Por otra parte, la comunicación y colaboración no se limita en ayuda para el fortalecimiento eléctrico del parque eléctrico guatemalteco dado que organizaciones internacionales como lo es la Asociación de Estudios Internacional del Agua (FIVAS) de Noruega se ha encargado de fiscalizar los beneficios que conlleva la construcción de centrales hidroeléctricas para las comunidades indígenas aledañas a estas.

Cabe resaltar que según un estudio realizado, algunas centrales son catalogadas como “Hidroeléctricas de la discordia”¹⁸, en el cual se pone de manifiesto que las centrales hidroeléctricas trabajan por un bien propio excluyendo a comunidades indígenas de los beneficios de electrificación que conlleva la instalación de este tipo.

Lo cual es fácilmente identificable en el caso de la hidroeléctrica de Chixoy puesto que el acceso a energía eléctrica de algunas aldeas de Alta Verapaz, Baja Verapaz y Quiché es escaso y son estos departamentos quienes casualmente comparten el mayor proyecto hidroeléctrico del país.

3.5. Interacción entre sectores

Los principales agentes que se ven relacionados en el sector científico y tecnológico son los oferentes de energía eléctrica, las universidades como entes creadores de mano de obra calificada y los colegios de profesionales.

¹⁸ Artículo de El Periódico, Guatemala. Fecha de publicación: 4 de julio del 2010.

3.5.1. Productivo

Como se mencionó, el sector productivo de energía eléctrica está conformado por los agentes del mercado mayorista, sin embargo, quienes toman un papel de mayor importancia en este contexto son los generadores. Los generadores son los entes más interesados en contribuir y hacer ver su trabajo, pues estos son quienes se ven más afectados ante las reacciones sociales de la población ante la instalación de centrales generadoras de energía eléctrica.

3.5.1.1. Geotérmica

Un aspecto interesante es que la mayoría de las centrales geotérmicas que tienen mayor interacción con diferentes entidades son las que son administradas por instituciones gubernamentales, en este caso el INDE y de manera específica la planta geotérmica ubicada en Amatitlán.

La central geotérmica de las Calderas ha permitido el ingreso para el estudio de diferentes proyectos ya sea de mejora, expansión o mantenimiento a diferentes estudiantes de postgrado.

En relación a la planta de Zunil I, no existen registros de que permitan ingresos a las instalaciones de la central geotérmica, sin embargo, su contribución hacia el país es relativamente buena, puesto que genera empleo y contribuye a reducir la dependencia hacia el petróleo al igual que otras fuentes de energía renovable.

3.5.1.2. Hidráulica

Las centrales hidroeléctricas, específicamente las que están a cargo del INDE, permiten la visita técnica a personas interesadas en aprender temas relacionados a sus instalaciones a través de un programa llamado *Ruta de la energía*. Un ejemplo de ello son los recorridos solicitados y hechos por las diferentes universidades, colegios y diferentes instituciones tanto públicas como privadas.

Esto se hace no solo con el propósito de educar a los estudiantes, sino también de mostrar que la generación de energía eléctrica a través de estos medios permite tener una mejor economía y contribuye al desarrollo social del país, ver tabla XVII.

Además de la generación de empleos en el país, una de las contribuciones más importantes por parte del sector productivo es la tarifa social, aplicada al suministro de energía dirigido a usuarios cuyo consumo sea inferior a 300 kWh en un período de facturación mensual, el cual consiste en un subsidio sobre el monto total facturado.

3.5.2. Universidades

En Guatemala existen catorce universidades, de las cuales únicamente cinco de estas ofrecen dentro de sus programas estudios a nivel licenciatura, posgrado, maestría e incluso doctorado que se relacionan de manera directa o indirecta con la utilización de recursos renovables. Ver tabla XII. La oferta académica actual, en materia de energías renovables no se enfoca de manera exclusiva en el área de recursos hídricos o geotérmicos. En consecuencia es muy difícil encontrar profesionales expertos en alguna de estas ramas.

Tabla XII. **Oferta académica relacionada a energías renovables**

Universidad	Grado académico	Título o descripción
FUNIBER	Maestría	Gestión y auditorías ambientales
Galileo	Licenciatura	Ingeniería de sistemas energéticos
Galileo	Postgrado	Sostenibilidad, ambiente y energía renovable
Galileo	Maestría	Energía renovable
Galileo	Maestría	Eficiencia energética
UMG	Maestría	Derecho ambiental
UMG	Maestría	Derecho y evaluación ambiental
UMG	Maestría	Especialización en energía renovable
USAC	Profesorado	Enseñanza media en ciencias naturales con orientación ambiental
USAC	Profesorado	Enseñanza media en pedagogía con orientación en medio ambiente
USAC	Técnico	Administración educativa con orientación en medio ambiente
USAC	Licenciatura	Ingeniería ambiental
USAC	Licenciatura	ingeniería en gestión ambiental
USAC	Licenciatura	Educación ambiental
USAC	Maestría	Energía y ambiente
USAC	Maestría	Economía ambiental y de los recursos naturales
USAC	Maestría	Gestión de recursos hídricos
USAC	Maestría	Ciencias y tecnologías de recursos hídricos
USAC	Maestría	Ingeniería geotécnica
USAC	Doctorado	Cambio climático y sostenibilidad
USPG	Maestría	Energía

Fuente: elaboración propia.

3.5.2.1. Geotérmica

Las universidades en Guatemala no tienen una oferta académica específicamente sobre energía geotérmica, sin embargo, esta no está exceptuada, pues es un tema que se aborda en múltiples foros, congresos y convenciones realizadas por las diferentes instituciones. Tal es el caso de la Universidad Galileo, en la cual cada año el instituto de recursos energéticos realiza una convención de energía renovable y eficiencia energética.

3.5.2.2. Hidráulica

No es de extrañar que las diferentes instituciones tengan una mayor oferta académica en relación a energía hidráulica en comparación a energía geotérmica, debido esencialmente al potencial hidráulico en Guatemala es aproximadamente seis veces mayor al de la energía geotérmica.

Dentro, del *pensum* de las diferentes maestrías mostradas en la tabla XII es posible identificar cursos enfocados directamente al aprovechamiento de los recursos hídricos. Por otra parte, es posible identificar una maestría en geotecnia, la cual es considerada un pilar para el estudio de suelos a la hora de construcción de centrales hidroeléctricas.

3.5.3. Escuelas y colegios

Los colegios profesionales de Guatemala son asociaciones gremiales con personalidad jurídica, sin fines de lucro y apolíticas. Son asociaciones que reúnen a los distintos profesionales universitarios egresados de las diferentes casas de estudios superiores de todo el país.

Estas instituciones contribuyen al cumplimiento de normas morales y conductas éticas en el entorno laboral y están comprometidas a velar porque la labor de sus agremiados sea de utilidad para el desarrollo del país, por esta razón, es posible identificar a instituciones como el Colegio de Ingenieros de Guatemala (CIG), que imparte un curso de evaluación de impacto ambiental enfocado a ingenieros, como parte de un programa de especialización del consejo de educación continua.

3.5.3.1. Geotérmica

La Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FIUSAC) realiza un congreso de topografía y geodesia, temas que son de relevancia para los estudios de prefactibilidad y factibilidad para la implantación de un proyecto geotérmico.

Así también, los laboratorios a cargo de esta escuela pueden facilitar la realización de alguno de los estudios necesarios, de hecho algunos de los ensayos de sus laboratorios como lo son el de concretos y metales están en proceso de acreditación con la Norma ISO 18025.

No existen registros de una agrupación gremial que contribuya de manera directa o indirecta en temas relacionados con la geotermia.

3.5.3.2. Hidráulica

La participación por parte de estas entidades juega un papel muy importante dado el potencial de los recursos hidroeléctricos, de hecho, el CIG imparte un diplomado en dirección de proyectos hidroeléctricos, en el cual se imparte contenido relacionado a:

- Unidad de marco regulatorio
- Unidad de hidrología
- Geología y geotecnia aplicada a proyectos hidroeléctricos
- Estudio topográfico
- Estudio de obra civil de diseño y cálculo
- Especificación de agua alambre
- Seguridad de presas
- Estudio económico, financiamiento de un proyecto hidroeléctrico
- Estudio de impacto ambiental
 - Clasificación taxativa
 - Requisitos institucionales
 - Caudal ecológico
 - Calidad de agua
 - Análisis de cuencas hidrográficas
- Estudio de impacto social
 - Clasificación de la conflictividad social
 - Medidas de diálogo y mitigación
 - Exposición de modelos de desarrollo energético para las regiones de Guatemala
 - Marco legal de la consulta social
- Realización del foro de soluciones
 - Invitación de las instituciones que participan en el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico en Guatemala

No existen registros de otra agrupación gremial que tenga una relación directa o indirecta con temas hidroeléctricos, por parte de de Escuela de Ingeniería Química de FIUSAC también ofrece servicios para medir calidad del agua, temas que son de relevancia para determinar el impacto ambiental de una hidroeléctrica y tomar las medidas de mitigación correspondientes.

3.6. Potencial geotérmico

El INDE es la institución que se ha encargado de identificar el potencial geotérmico en Guatemala. En 1982, la organización latinoamericana de energía realizó una campaña de investigación muy completa sobre todas las manifestaciones termales en Guatemala. Ver tabla IV, V y la figura 6.

En la campaña se analizaron aspectos geovolcanológicos, estructurales, petrografía y geoquímica de aguas y gases. Todo esto con la finalidad de conocer el potencial geotérmico del país.

De acuerdo con este estudio, en el país existen trece áreas geotérmicas susceptibles de ser aprovechadas como recurso para generación de electricidad, sin embargo, existen al menos 40 sitios con potencial geotérmico para aplicaciones para la industria, agroindustria, recreación, etc.

3.6.1. Disponibilidad del recurso natural

De las trece áreas sugeridas por la organización encargada de evaluar el territorio guatemalteco, el estado de Guatemala se reservó para su desarrollo cinco de ellas, estas son:

- Zunil (dividida en dos áreas, Zunil I y Zunil II)
- Amatitlán
- Tecuamburro
- San Marcos
- Moyuta

Estas son las áreas en las que mayor cantidad de trabajos de investigación se han realizado. Como resultado de estos trabajos.

3.6.2. Cálculo de potencial

El cálculo del potencial de la energía geotérmica va de la mano los estudios para medir la energía geotérmica.¹⁹ Como se ha mencionado, se requiere de investigaciones geovulcanológicas, geología estructural, geoquímica, geofísica y finalmente la perforación exploratoria; esta última es la más útil de todas para medir el potencial geotérmico. Un claro ejemplo del cálculo del potencial geotérmico es el proceso que se realizó en Zunil I.

Durante la campaña para identificar el potencial geotérmico en Guatemala, se perforaron seis pozos exploratorios en el área de Zunil, cuatro de ellos fueron productores con una capacidad de 15 MW. Con el propósito de incrementar esta capacidad, se perforaron tres pozos adicionales, siendo todos ellos productores. Llegando a tener la capacidad con la que se cuenta actualmente, 25,2 MW. Como parte de un programa sobre el correcto uso de los recursos naturales, en 1999 se perforaron cuatro pozos de reinyección para obtener la suficiente capacidad de reinyección de los fluidos tras ser utilizados en la operación de la planta, de esta manera se optimiza el uso del reservorio.

El proceso es el mismo cuando se identifican zonas geotérmicas, en consecuencia es posible concluir que la mejor manera de obtener una certeza sobre la factibilidad de aprovechar un recurso geotérmico es a través de la perforación exploratoria, sin embargo, esta fase del estudio es la más cara y por ello son necesarios todos los estudios mencionados anteriormente.

¹⁹ Ver el apartado sobre la medición de la energía geotérmica.

3.7. Potencial hidráulico

Todos los recursos naturales hídricos contribuyen al potencial hidráulico del país, de hecho, la dirección general de MEM considera que el potencial de la energía hidroeléctrica en Guatemala es de 10 000 MW, pero solamente se ha podido comprobar el potencial de 6 000 MW.

Dentro de los recursos hídricos es posible mencionar ríos, lagos, lagunas, lagunetas, etc., estos son los que se pueden utilizar en su mayoría para generar energía eléctrica a través de la energía hidráulica. Así también deben tomarse en consideración la topografía de los terrenos, pues los cambios de altura proporcionan una ventaja competitiva en relación a la generación de energía eléctrica.

Todos los recursos hídricos tienen la capacidad de regenerarse a través del ciclo natural del agua, siempre y cuando sean utilizados de una manera consciente, es por ello que se considera una fuente renovable. A continuación se detalla de manera específica el potencial hídrico que existe en Guatemala.

3.7.1. Disponibilidad del recurso natural

Guatemala cuenta con una gran cantidad de recursos hídricos, de acuerdo a los balances de agua medios anuales, el país cuenta con una capacidad significativa que supera las necesidades de la población en un contexto general.

El país posee tres regiones hidrográficas las cuales son vertiente del pacífico, vertiente del golfo de México y la vertiente del atlántico; estas se expresan en:

- 38 cuencas fluviales o ríos
- 194 cuerpos de agua continentales
- 7 lagos
- 49 lagunas
- 109 lagunetas
- 19 lagunas costeras
- 3 lagunas temporales
- 7 embalses

A pesar de que se cuenta con una gran cantidad de recursos hídricos, no todos son factibles para la instalación de centrales hidroeléctricas, los antecedentes muestran que la mayoría de centrales hidroeléctricas se construye cerca de cuencas o ríos. Las cuencas tienen características como el área que ocupa, disponibilidad y porcentaje. Ver tabla XIII.

Tabla XIII. **Cuencas de Guatemala**

Vertiente	Cuenca	Área en km ²	Disponibilidad		Caudal en m ³ /seg.
			mt ³	Porcentaje	
Pacífico	Coatán	272	148	0,16 %	4,69
	Suchiate	1 057	1 637	1,76 %	51,91
	Naranjo	1 273	2 225	2,39 %	70,55
	Ocosito	2 035	2 208	2,37 %	70,02
	Salamá	1 510	1 330	1,43 %	42,17
	Sis-Icán	919	1 064	1,14 %	33,74
	Nahualate	1 941	2 506	2,69 %	79,46
	Atitlán	541	333	0,36 %	10,6
	Madre Vieja	878	932	1,00 %	29,55
	Coyolate	1 648	2 176	2,34 %	69
	Acomé	807	685	0,74 %	21,72
	Achiguate	1 291	1 584	1,70 %	50,23
	María Linda	2 572	2 205	2,37 %	69,92
	Paso Hondo	721	463	0,50 %	14,68
	Los Esclavos	2 271	2 103	2,26 %	66,69
	Paz	1 732	964	1,04 %	30,57
	Ostúa - Güija	2 243	1 018	1,09 %	32,28
	Olopa	310	229	0,25 %	7,26
	<i>Subtotal</i>	<i>24 021</i>	<i>23 810</i>	<i>25,58 %</i>	<i>755</i>
Atlántico	Grande de Zacapa	2 462	843	0,91 %	26,73
	Motagua	12 670	6 545	7,03 %	207,54
	Río Dulce	3 435	3 280	3,52 %	104,01
	Plochic	2 811	3 336	3,58 %	105,78
	Cahabón	2 459	4 122	4,43 %	130,71
	Sarstún	2 109	3 164	3,40 %	100,33
	Mopán Belice	4 910	112	0,12 %	3,55
	Hondo	2 575	799	0,86 %	25,34
	Moho	643	55	0,06 %	1,74
	Temash	69	13 57	1,46 %	43,03
	<i>Subtotal</i>	<i>34 143</i>	<i>236 13</i>	<i>25,37 %</i>	<i>748,76</i>

Continuación de la tabla XIII.

Golfo de México	Cuilco	2 274	854	0,92 %	27,08
	Selegua	1 535	1 416	1,52 %	44,9
	Netón	1 451	1 682	1,81 %	53,34
	Pojom	813	2 134	2,29 %	67,67
	Ixcán	2 085	5 362	5,76 %	170,03
	Xaclbal	1 366	3 004	3,23 %	95,26
	Chixoy	12 150	14 503	15,58 %	459,89
	La Pasión	12 083	9 664	10,38 %	306,44
	Usumacinta	2 638	2 510	2,70 %	79,59
	San Pedro	14 335	4 539	4,88 %	143,93
	<i>Subtotal</i>	<i>50 730</i>	<i>45 668</i>	<i>49,06 %</i>	<i>14,48</i>
Total	38 Cuencas	108 894	93 091	100,00 %	2 952

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el MARN.

3.7.2. Cálculo de potencial

El potencial teórico hidroeléctrico es una medida de los recursos hídricos disponibles en un sistema fluvial para la producción de energía. Por definición, este potencial considera que la totalidad de agua que escurre en la corriente es capaz de generar electricidad en función de su desnivel, con un 100 % de eficiencia. El potencial teórico de una región es calculado como la suma de potencia correspondiente a cada tramo que conforma los recursos de agua de dicha región.

Por otra parte, el potencial hidroeléctrico técnico, a diferencia del teórico toma en consideración criterios técnicos y económicos para calcular el potencial aprovechable en forma eficiente. El potencial hidroeléctrico teórico representa el límite superior del potencial hidroeléctrico técnico.

La determinación del potencial hidroeléctrico técnico se fundamenta en un índice especialmente desarrollado, basado en las inversiones necesarias y los volúmenes energéticos posibles de generarse en cada tramo evaluado, calculando en forma expeditiva los costos de la construcción de un aprovechamiento en dicho tramo. El índice mencionado se denomina índice de costo beneficio.

Al igual que la energía geotérmica, el cálculo del potencial de energía hidráulica va de la mano con sus estudios de medición, entre los cuales se puede mencionar los geológicos, geotécnicos, topográficos, hídricos, entre otros. Estos estudios permitirán obtener los parámetros para garantizar el éxito del proyecto en caso de que este sea factible.

3.8. Impacto en la matriz energética

La matriz energética nacional muestra la relación cuantitativa de los recursos que se utilizan para la generación de energía eléctrica y está compuesta tanto por fuentes de energía renovable como no renovable. La conciencia que se ha tomado a nivel global sobre el medio ambiente y el aprovechamiento de los recursos renovables es lo que ha permitido a Guatemala cambiar parcialmente la forma en que se genera energía eléctrica.

En mayo del 2013, se realizó un foro económico en el cual el MEM presentó el estado actual de la matriz energética. Ver tabla XIV.

Tabla XIV. **Matriz energética actual**

Recurso	Potencial estimado	Aprovechamiento
Petróleo	Reserva de 195 146 605 barriles	10 500 barriles/día
Gas natural	No contabilizado	Sin aprovechar
Potencial hidroeléctrico	6 000 MW	Aprovechado un 24 %
Potencial geotérmico	1 000 MW	Aprovechado un 5 %
Potencial eólico	280 MW	Aprovechado un 36 %
Potencial solar	5,3 kW*h/m ² *día	Utilizado en sistemas aislados
Potencial biomásico	No contabilizado	306,5 MW aprovechados

Fuente: elaboración propia, con base en información presentada en el Foro Guatemala Investment Summit 2013.

El potencial de los recursos naturales es más que suficiente para satisfacer la demanda actual del país, en consecuencia de hacer esto posible, habría una total independencia de combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica.

La independencia de la utilización de los combustibles fósiles implicaría ventaja competitiva de Guatemala ante otros países de la región, puesto que a través de esta se verían reducidos los productos derivados del petróleo y además se ofrecería un servicio de electrificación mucho más barato al actual, puesto que cabe destacar que Guatemala cuenta con una de las tarifas más altas en relación al precio de energía eléctrica.

3.8.1. Geotérmica

La demanda actual en Guatemala de energía eléctrica asciende a los 1 114 MW con un total de 2,43 millones de usuarios. Al hacer la relación entre potencial geotérmico y demanda se obtiene:

$$\frac{Potencial}{Demanda} * 100 \% = \frac{1\ 000}{1\ 114} * 100 \% = 89,77 \%$$

La relación permite identificar que el potencial geotérmico es suficiente para satisfacer un 89,77 % de la demanda lo que equivale a un total de 2,18 millones de usuarios.

Sin embargo, la explotación de recursos geotérmicos se ha visto estancada por varios años por razones políticas y económicas entre otras, esto ha conllevado a que solamente se haya aprovechado un 5 % de todo el potencial.

3.8.2. Hidráulica

Al igual que la energía geotérmica, la utilización del potencial hídrico tiene un impacto positivo en el parque eléctrico del país, sin embargo es posible decir que el aprovechamiento de este recurso trasciende aún más. La relación entre demanda de energía y potencial de energía geotérmica es:

$$\frac{Potencial}{Demanda} * 100 \% = \frac{6\ 000}{1\ 114} * 100 \% = 538,60 \%$$

La relación muestra que de aprovecharse todos los recursos energéticos del país, sería posible no solamente satisfacer la demanda actual en su totalidad, sino también ser un país exportador de energía eléctrica.

La participación de la energía hidráulica en la matriz energética, ha conllevado a un cambio radical, puesto que es la fuente renovable con mayor participación. Su contribución no ha sido solamente de beneficio en la generación de energía eléctrica, puesto que también ha generado empleo y mejorado mejorando la calidad de vida de las personas.

3.9. Educación y percepción pública

En relación a la educación, se ve una clara deficiencia por parte de la oferta educativa del país, puesto que el Ministerio de Educación (MINEDUC) en su pensum de estudios establece que se debe informar a los estudiantes sobre temas de energía renovable cuando estos cursan el primer grado, dentro de la asignatura de ciencias sociales y formación ciudadana.

Lo descrito anteriormente es una de las principales causas de las protestas en contra de las centrales hidroeléctricas y otras fuentes de energía renovable, pues muestra que existe una clara desinformación por parte de la población.

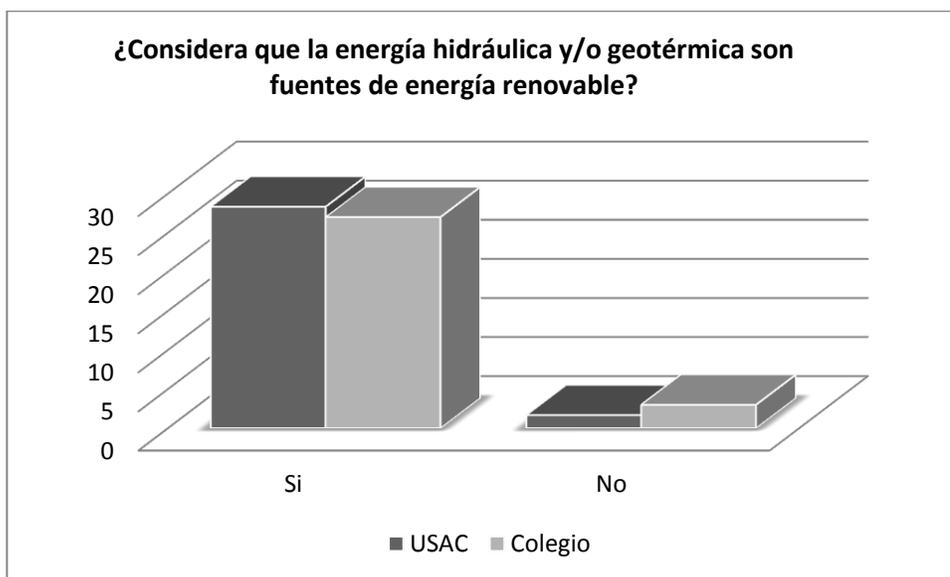
No es sino hasta que tienen la oportunidad ingresar a cursos de educación superior donde la sociedad amplia su criterio en relación a estos temas, lo cual es lamentable. Para demostrar la percepción pública se realizó una encuesta ²⁰ con el propósito de identificar el conocimiento y la percepción que tienen de manera específica sobre energía geotérmica y energía hidráulica.

²⁰ Ver formato de encuesta en el apéndice.

Con el objetivo de determinar la percepción de la sociedad guatemalteca en relación a la energía geotérmica e hidráulica como fuente de generación de electricidad se realizó una encuesta con una muestra de 60 personas divididas en 2 grupos para realizar una comparación de los conocimientos que existen entre estudiantes de cierre de la carrera de ingeniería industrial en la facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala y estudiantes por graduarse de nivel medio del Colegio Técnico Los Próceres.

Los resultados mostraron que un 87 % del total de los encuestados conocen o tienen una idea sobre la forma en que se genera la energía eléctrica en Guatemala, de estos la mayoría concuerda en que la energía geotérmica e hidráulica son renovables. Ver figura 21.

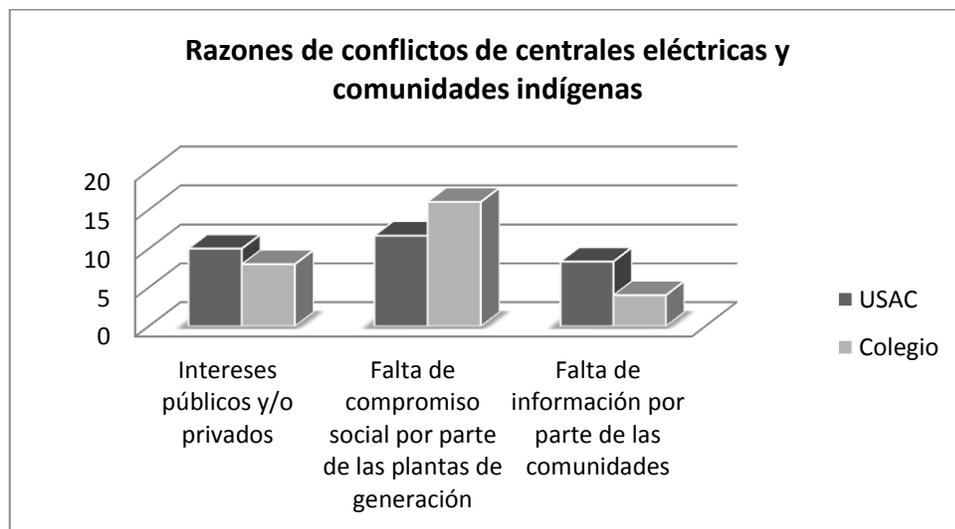
Figura 17. **Gráfico sobre percepción pública I**



Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, al analizar la percepción de la muestra sobre la intervención del Gobierno en la facilitar o incentivar la inversión de proyectos geotérmicos e hidroeléctricos se identificó que el 87 % de ellos no cree que se hayan tomado las medidas necesarias. Además también se les preguntó su opinión sobre las causas de los conflictos que se dan entre centrales de generación eléctrica y las comunidades que viven aledañas a estas. Los resultados se muestran en la figura 22.

Figura 18. **Gráfico sobre percepción pública II**



Fuente: elaboración propia.

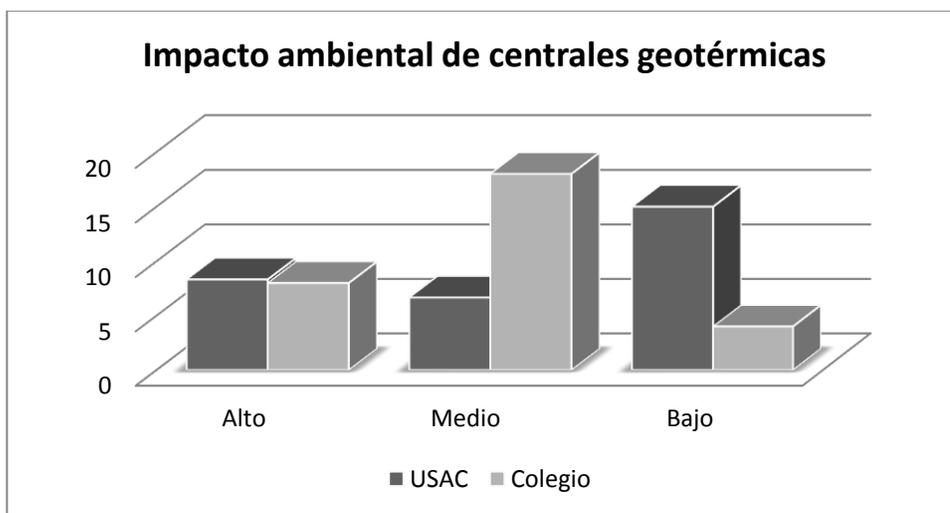
El gráfico anterior muestra que según la opinión pública, la falta de compromiso social por parte de las plantas de generación es la razón de la conflictividad, sin embargo, tanto los intereses públicos y/o privados como la falta de información tienen una puntuación considerable.

En relación a la información es posible identificar gran parte de los encuestados no saben dónde ubicar información en relación a la energía geotérmica y/o hidráulica, hablando del total de la muestra es el equivalente a un 68 %. El 32 % restante sugirió que es posible encontrar información concerniente a estos temas en bibliotecas, librerías, incluso láminas estudiantiles. Además se identificó únicamente el 4 % del total de la muestra conoce algún beneficio adicional a la generación de energía eléctrica por parte de centrales geotérmicas e hidroeléctricas, lo cual es lamentable dado que no solamente tienen esta finalidad.

3.9.1. Geotérmica

Cuando se les preguntó ¿Cómo cataloga el impacto ambiental de las centrales de generación de energía eléctrica que tiene como fuente la energía geotérmica?, su respuesta se ve reflejada en la figura 23.

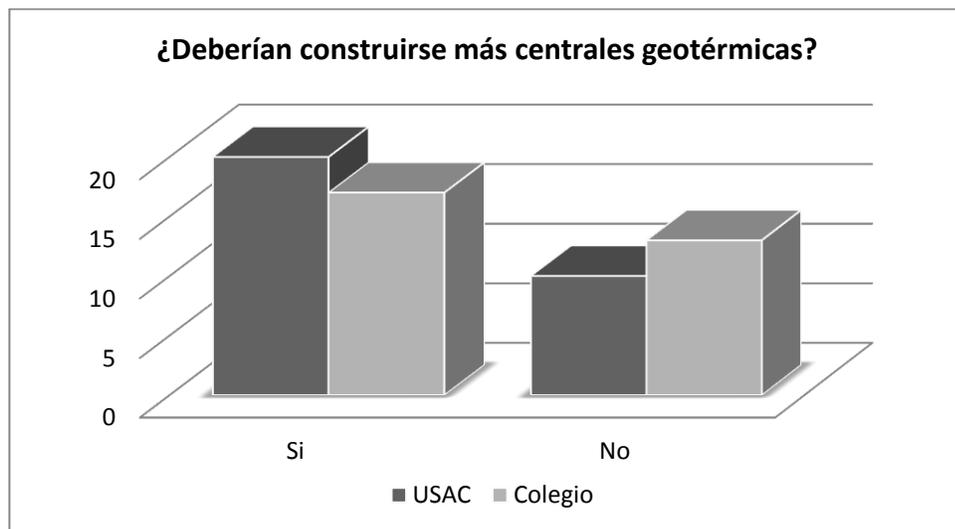
Figura 19. **Gráfico sobre percepción pública III**



Fuente: elaboración propia.

A pesar del impacto ambiental mostrado anteriormente, la mayoría concuerda en que sí se deben construir más centrales geotérmicas, alcanzando un 62 % de respuestas favorables del total de la muestra. Ver figura 24.

Figura 20. **Gráfico sobre percepción pública IV**



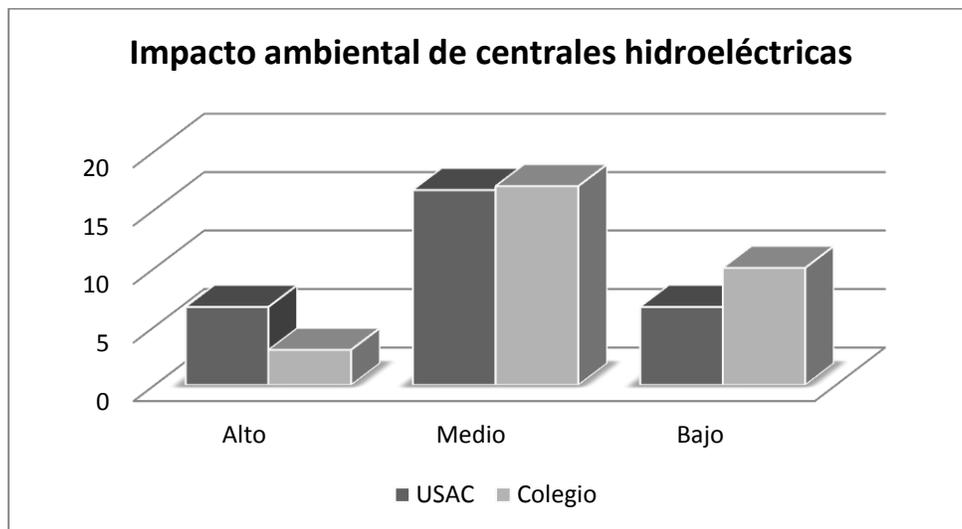
Fuente: elaboración propia.

Con el propósito de identificar si la muestra conocía otras fuentes de información, se le preguntó si conocían algún curso relacionado con la energía geotérmica, los resultados mostraron que solamente el 3 % tenía conocimiento sobre alguno, la respuesta favorable se obtuvo únicamente de los estudiantes de la USAC. También se les preguntó si conocían algún proyecto geotérmico y solamente el 3 % del total de la muestra afirmó conocer alguno.

3.9.2. Hidráulica

Cuando se les preguntó ¿Cómo cataloga el impacto ambiental de las centrales de generación de energía eléctrica que tiene como fuente la energía hidráulica?, se identificó que existe una clara diferencia entre la percepción de la energía geotérmica e hidráulica, puesto que consideran a la energía hidráulica menos dañina para el ambiente. Ver figura 25.

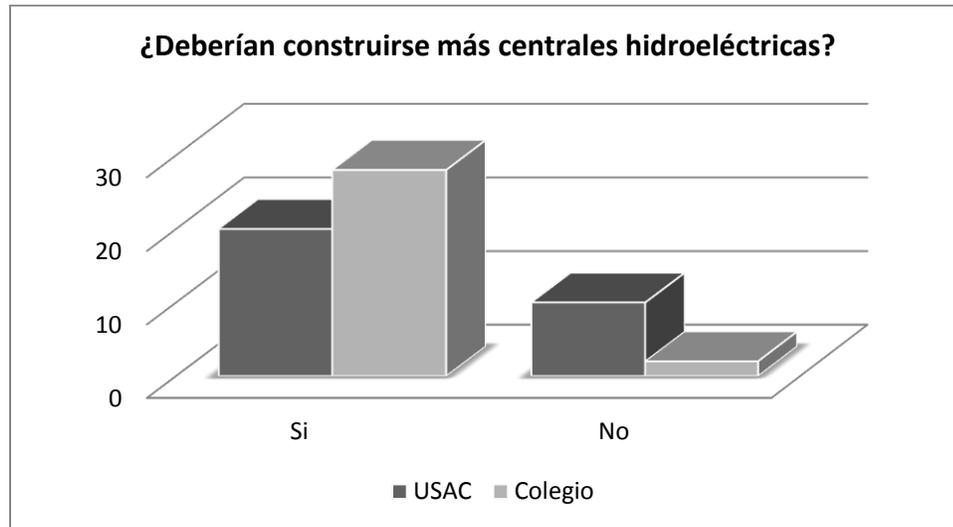
Figura 21. Gráfico de percepción pública V



Fuente: elaboración propia.

Al preguntarles a la muestra, si estaban de acuerdo en que se construyeran más centrales hidroeléctricas, su respuesta no solamente fue favorable sino que también explicaron que a través de estas se generarían tarifas más bajas para la sociedad, del total de la muestra un 80 % estuvo de acuerdo en que se deben construir más centrales hidroeléctricas. Ver figura 26.

Figura 22. **Gráfico de percepción pública VI**



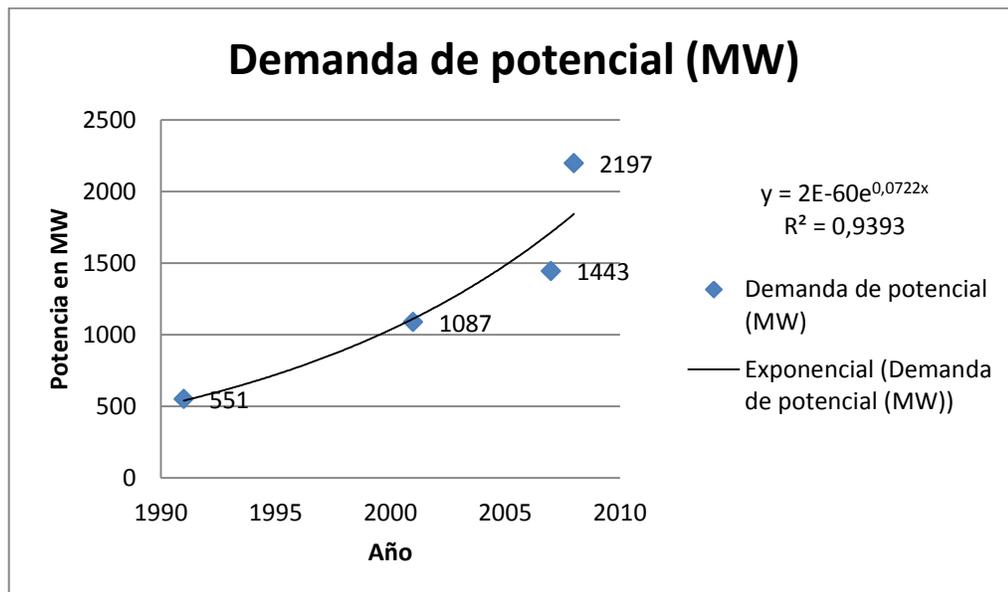
Fuente: elaboración propia.

Con el propósito de conocer e identificar si la muestra conocía otras fuentes de información, se le preguntó si conocían algún curso relacionado con la energía hidráulica o centrales hidroeléctricas, los resultados mostraron que solamente el 6 % tenía conocimiento sobre alguno, la respuesta favorable se obtuvo únicamente de los estudiantes de la USAC. Por otra parte también se preguntó si conocían sobre algún proyecto hidroeléctrico, solamente el 12 % del total de la muestra afirmó conocer alguno y haber estado presente.

4. DESARROLLO DEL SECTOR PRODUCTIVO GEOTÉRMICO E HÍDRICO

La oferta de energía eléctrica en Guatemala ha cambiado a lo largo del tiempo a razón de la demanda, ver figura 23; prueba de ello es la transición por la que ha pasado la matriz energética. Sin embargo, esta transición se debe a las distintas formas en que se han explotado los recursos geotérmicos e hídricos del país, por ello es importante conocer cómo está compuesto el sector productivo en la actualidad, los planes que se tienen en desarrollo y la proyección de este hacia el futuro.

Figura 23. Demanda histórica del potencial eléctrico



Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el ministerio de economía.

4.1. Aplicación de la energía geotérmica

La aplicación de los recursos geotérmicos es mucho más amplia en comparación a la de los recursos hídricos, dado que no se limita a la generación de energía eléctrica. La aplicación de estos varía acorde a la clasificación de este tipo de recurso. Ver tabla XV.

De manera específica en Guatemala, en el campo geotérmico ubicado en Amatitlán existen iniciativas para la utilización del recurso geotérmico, las cuales se denominan “Uso directo de la energía”, tal es el caso de la empresa de materiales de construcción Monolit, quienes están utilizando el calor geotérmico para el curado de sus productos de concreto.

En otra zona que comprende el área geotérmica de Amatitlán, existe una gran cantidad de manifestaciones termales, especialmente de agua caliente. Esta situación ha sido aprovechada por una serie de establecimientos turísticos que utilizan este recurso para fines recreativos, la cual es una de las aplicaciones comerciales de la geotermia, situación que actualmente está poco aprovechada.

Además, existen tres empresas agroindustriales que se dedican a la deshidratación de frutas utilizando el recurso energético y también para la producción de biodiesel, estas empresas son:

- Lemonex, S. A.
- Agroindustrias la Laguna, S. A.
- Biocombustibles de Guatemala, S. A.

Tabla XV. **Aplicación de los recursos geotérmicos**

Condiciones del reservorio	Temperatura en °C	Aplicación
Vapor saturado	>180	Generación de electricidad
		Evaporación de soluciones altamente concentradas
	180	Refrigeración por absorción de amonio
		digestión de pulpa de papel, <i>kraft</i>
	170	Agua pesada vía sulfura de hidrógeno
		Secado de tierra diatomácea
	160	Secado de carne de pescado
		Secado de madera
	150	Alúmina vía proceso de <i>Bayer</i>
Agua	140	Secado de producto de granja a altas tasas
		Enlatado de comida
	130	Evaporación en refinado de azúcar
		Extracción de sales por evaporación y cristalización
	120	Agua pura pos destilación
		Concentración de soluciones salinas
	110	Secado y curado de <i>blocks</i>
	100	Secado de material orgánico: algas, hierbas, vegetales, etc.
		Lavado y secado de lana
	90	Secado de pescado
		Operaciones intensas de deshielo
	80	Calentamiento de ambientes
		Invernaderos por calentamiento de ambiente
70	Refrigeración (límite inferior de temperatura)	
60	Cría de animales domésticos	
	Invernaderos por calentamiento de espacios y semillero	
50	Cultivo de hongos	
	Baños termales	
40	Calentamiento de suelos	

Fuente: elaboración propia, con base en información de la guía de energía geotérmica.

4.2. Aplicación de la energía hidráulica

La energía hidráulica se utilizó en tiempos antiguos como fuente de energía mecánica para diversos procesos agrícolas, tal y como se mostró en los antecedentes. Actualmente la aplicación que tiene mayor provecho en el aprovechamiento de este tipo de energía es la generación de electricidad, la utilización de esta fuente de energía ha promovido un cambio radical en la forma en que Guatemala genera electricidad, puesto que es la segunda fuente con mayor participación dentro de la matriz energética actual.

A pesar que sus aplicaciones se limitan en cantidad en comparación a la energía geotérmica, la energía hidráulica también tiene otras aplicaciones adicionales a la hidroelectricidad.

Las hidroeléctricas que utilizan embalses y presas, eventualmente devuelven el agua utilizada al cauce natural del río que se desvió para su aprovechamiento, en condiciones ideales, el agua es devuelta con la misma calidad o incluso mejor, en consecuencia existen hidroeléctricas a cargo de la provisión de agua potable para regiones aledañas a estas. Otras de las aplicaciones que pueden tener son:

- Pesca
- Procesos industriales
- Abastecimiento de otras centrales hidroeléctricas
- Agricultura
- Turismo
- Reforestación

En Guatemala, la mayoría de las hidroeléctricas del sector privado se dedican de manera exclusiva a la generación de electricidad y esto ha llevado incluso a conflictos sociales por intereses económicos entre propietarios de hidroeléctricas y comunidades indígenas que viven cerca de las instalaciones de la planta. Cabe mencionar que una manera de evitar reacciones por parte de grupos insurgentes es a través de la implantación de planes de desarrollo social que involucren las actividades descritas anteriormente para promover un desarrollo que no solamente beneficie de manera exclusiva a los propietarios y trabajadores de las centrales hidroeléctricas.

Por otra parte las hidroeléctricas a cargo del INDE han mostrado su interés en actividades de reforestación, tal es el caso de la hidroeléctrica Los Esclavos cuya principal tarea es plantar árboles como el cedro, caoba y varios tipos de árboles frutales.

En conjunto todas las hidroeléctricas a cargo del INDE, han donado más de un millón de árboles para esta actividad que se lleva a cabo año con año, la cual también es supervisada por el MEM. Estas actividades son medidas de mitigación contra el impacto ambiental que genera la construcción de centrales hidroeléctricas.

4.3. Costos de la inversión de un proyecto energético

Una de las principales características de los proyectos donde se pretende instalar una central para el aprovechamiento de energía renovable es su alto costo inicial. Este varía en función del tipo de recurso a explotar pero más importante aún, es el hecho de que el tamaño del proyecto por megavatio de capacidad tiene una relación directa con el monto de la inversión inicial.

Es importante resaltar que a medida que se incrementa la capacidad del proyecto, menor será el costo por megavatio instalado.

4.3.1. Geotérmica

Como se ha mencionado, la instalación de una central geotérmica conlleva una serie de estudios, gran parte del costo relacionado con este tipo de energía surgen al inicio durante la excavación y establecimiento de la planta que representan una parte sustancial del costo global del proyecto.

Los costos operativos varían dependiendo de la capacidad de la planta, los pozos de restauración (pozos nuevos para reemplazar los pozos fallidos y restaurar la pérdida de producción o la capacidad de inyección) y la composición química de los fluidos geotérmicos del reservorio. Sin costes de combustible, los costos de operación para plantas geotérmicas son predecibles en comparación con plantas de generación basadas en combustión que están sujetas a fluctuaciones en los precios de mercado del combustible.

En términos generales, los costos para un proyecto geotérmico se clasifican en:

- Costos de inversión:
 - La exploración de recursos geotérmicos: incluye la adquisición de arrendamiento, lo que permite la prospección (geológica y geofísica) y la perforación de pozos de exploración y de pruebas. La perforación de pozos de exploración en áreas verdes. Los costos de confirmación se ven afectados por los parámetros del pozo (sobre todo la profundidad y diámetro), propiedades de las rocas, productividad, disponibilidad de equipo de perforación,

retrasos en los permisos o arrendamiento de tierras y las tasas de interés. Este componente representa entre el 10 % y 15 % del coste total de inversión pero para proyectos de expansión puede ser tan baja como del 1 al 3 %.

- Perforación de pozos de producción: dentro de los factores que influyen en el costo se incluyen la permeabilidad y temperatura del reservorio, profundidades de los pozos, disponibilidad de equipos, diseño vertical o direccional, circulaciones especiales de fluidos, tiempos especiales de perforación, el número de perforaciones planificadas. Este componente representa del 20 % al 35 % de la inversión total.
- Las instalaciones de superficie e infraestructura: incluyen las instalaciones para la obtención de vapor y el procesamiento de salmuera: separadores, bombas, tuberías y las carreteras. Las instalaciones para obtención de vapor tienen menores costos cuando la manipulación de la salmuera no es necesaria. Factores que influyen en este componente son los depósitos de los fluidos químicos, los precios de las materias primas (acero, cemento), la topografía, accesibilidad, estabilidad de taludes, distribución del pozo (tuberías, diámetro y longitud), y los parámetros de los fluidos (presión, temperatura, la química). Constituyen de un 10 % a un 20 % del costo del proyecto.
- Plantas de energía: incluyen las turbinas, generadores, condensadores, subestación eléctrica, red de conexión, lavadores de vapor y los sistemas de reducción de contaminación. El diseño de planta de energía y los costos de construcción dependen del tipo (*flash*, vapor seco, binario o híbrido), la ubicación, el tamaño (una mayor cantidad de unidades y mayor tamaño de la planta es más barato por unidad de producción), las entalpía del fluido

(temperatura de recursos) y química, el tipo de ciclo de enfriamiento utilizado (agua o aire de refrigeración) y las disponibilidad de agua para enfriamiento si se utiliza agua. Este componente varía entre 40 % y 81 % de la inversión.

Un factor adicional que afecta el costo de inversión de un proyecto geotérmico es el tipo de proyecto, los proyectos de expansión de instalaciones pueden costar desde 10 % hasta un 15 % menos que un proyecto nuevo, ya que una vez que las inversiones en exploración, investigación e infraestructura han hecho, ya se ha aprendido en la fase de perforación y la producción inicial en los pozos.

- Costos de operación y mantenimiento: están constituidos por una porción fija y otra variable, directamente relacionadas con la fase de producción de electricidad. Los costos anuales de operación y mantenimiento incluyen:
 - El campo de operación: mano de obra y equipamiento
 - La operación de los pozos
 - Trabajo sobre los pozos
 - Mantenimientos de las instalaciones.

Cada planta de energía geotérmica tiene costos de operación y mantenimiento específicos que dependen de la calidad y diseño de la planta, las características del recurso, regulaciones ambientales y la eficiencia del operador. El factor que más afecta a estos costos es la extensión del trabajo y los requerimientos de la restauración de pozos los que pueden variar ampliamente en distintas instalaciones y por lo general aumentan con el tiempo.

En términos de capacidad instalada, estos costos oscilan entre 152 y 187 USD/kW por año, dependiendo del tamaño de la planta de energía.

Por otra parte, las economías de escala podrían reducir significativamente los costos de algunos componentes. Se estima que el costo de capital (incluyendo el costo de taladrado) de plantas geotérmicas con capacidad desde 50 MW a 150 MW decrecen exponencialmente de acuerdo a la siguiente relación:

$$C = 2500 * e^{-0,0025(P-5)}$$

En donde C representa el costo del capital en miles de dólares y P es la potencia del proyecto. Para P = 50 MW el costo de capital es C = 2 797,68 miles de dólares y para P = 150 MW, C = 3 592,29 miles de dólares.

4.3.2. Hidráulica

Los costos relacionados con la generación de energía eléctrica a partir de energía hidroeléctrica son específicos del lugar del que se trate, es decir que los costos de construcción, del ajuste a aspectos ambientales, flujo del río y su energía resultantes, son todos factores que juegan un importante papel en el costo final de la energía generada a partir de un lugar específico.

Es muy difícil decir que generar energía eléctrica a partir de hidroeléctricas resulta más barato o caro que en una central geotérmica, puesto como se mencionó las características del lugar donde se planee construir puede repercutir de manera positiva o negativa en el costo final del proyecto.

En términos generales, los costos de una central hidroeléctrica los se pueden clasificar en:

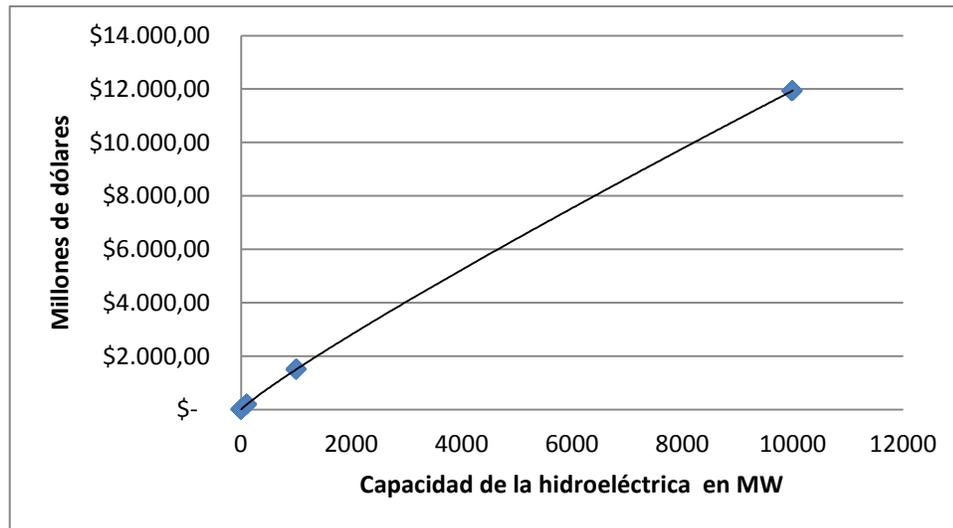
- Costos iniciales de inversión: en proyectos de energía hidroeléctrica, donde la capacidad instalada es inferior a 5 MW, los costos de los equipos electromecánicos, tienden a dominar. A medida que aumenta la capacidad, los costos son cada vez más influenciados por el costo de infraestructura civil. Los costos de construcción civil, la mayoría son consecuencia de presas, tomas de agua, conductos de presión hidráulica (túneles y compuertas) y casas de máquinas. Los costos de equipos electromecánicos se apegan a precios mundiales y su variación respecto de su proveedor está en función de la marca y prestigio del proveedor. Según un estudio realizado por *Hall et Al*, los costos de inversión para centrales hidroeléctricas se pueden modelar a través de la función:

$$Y = 3 * 10^6 * x^{0,90}.$$

Dentro de estos costos se involucra una serie de estudios e insumos, siendo los que tienen más peso los primeros dos mencionados a continuación:

- Costos de construcción civil
- Costo de los equipos electromecánicos para la transformación de energía.
- Costos de planificación
- Costos de análisis de impacto ambiental
- Costos de concesión de licencias
- Costos de mitigación de la pesca y vida silvestre
- Costos de mitigación y recreación
- Costos de monitoreo de calidad de agua

Figura 24. **Costos de inversión para plantas hidroeléctricas en función de la capacidad a instalar**



Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el estudio realizado por Hall et al.

- **Costos de operación y mantenimiento:** una vez construidas y puestas en funcionamiento, las centrales hidroeléctricas requieren muy poco mantenimiento y los costos de operación se pueden mantener bajos, ya que las plantas hidroeléctricas no tienen costos recurrentes en cuanto a combustibles. Los costos de operación y mantenimiento se dan generalmente como un porcentaje del costo de inversión por kW. El estudio del consejo europeo de energías renovables junto con Greenpeace, utiliza un 4 % de estos costos, lo que puede ser apropiado para la energía hidroeléctrica a pequeña escala, pero es demasiado alto para centrales hidroeléctricas de gran escala. Un estudio realizado por la Agencia Internacional de Energía (IEA), utiliza un 2,2 % - 2,5 % para proyectos hidroeléctricos de gran escala y un 3 % para proyectos más pequeños.

- Tasa de descuento: los inversores privados suelen optar por las tasas de descuento de acuerdo a las características de riesgo-rendimiento de sus alternativas de inversión. Una alta tasa de descuento será benéfica para las tecnologías con baja inversión inicial y los altos costes de funcionamiento. Eventualmente se logra obtener una baja tasa de descuento favor de las fuentes de energía renovable, ya que muchos de ellas, incluida la energía hidroeléctrica, tienen un costo inicial de inversión relativamente altos y bajos costes recurrentes. Este efecto será aún más pronunciado para las tecnologías con una larga vida útil como la hidroeléctrica. En la IEA, los costos de energía se han calculado y oscilan entre un 5 % -10 %.

Actualmente los costos dependen en gran medida del tipo de sitio que se utilice. Los lugares existentes que han pasado por un proceso de modificación retroactiva y modernización pueden llegar a ser la estrategia más económica, seguidos por instalaciones eléctricas que se añaden a los diques que ya existen y que no cuentan con instalaciones hidroeléctricas. Por último, el desarrollo de nuevos lugares puede resultar lo más caro. Los costos que tienen que ver con el aumento de procesos regulatorios afectarán todos los tipos de desarrollo hidroeléctrico.

Países como Argentina cuentan con un *software* llamado *Manual de procedimientos para la determinación de los costos de construcción de aprovechamientos hidroeléctricos*, es una herramienta que permite la generación de presupuestos para este tipo de obras en distintos niveles de detalle de los proyectos: básico o para licitación, factibilidad, prefactibilidad e inventario, con una única base de costos, permite estimar el costo de proyectos hidroeléctricos donde el usuario de la herramienta debe cargar en el sistema.

Según sea el nivel que desee presupuestar, determinadas características y datos de la obra en cuestión (parámetros de cálculo) y, en base a costos horarios y unitarios de materiales, equipos y mano de obra y de fórmulas internas, el sistema genera un reporte con el presupuesto estimado de la misma a la fecha que se especifique.

La perspectiva sobre los costos de centrales hidroeléctricas es muy prometedora; las innovaciones tecnológicas y las mejoras podrían reducir el costo en el futuro. Según la literatura, al comparar una central hidroeléctrica de 10 MW, los costos sobre la inversión de proyectos hidroeléctricos se ve que estos se han reducido en casi un 100 %.

4.4. Perspectiva del crecimiento de la energía geotérmica

Si bien la generación de energía eléctrica a través de energía geotérmica en Guatemala se ha visto estancada en los últimos años, esto no implica que no existan planes de desarrollo para el aprovechamiento de este recurso. La proyección y desarrollo de nuevos proyectos geotérmicos está en función de las políticas gubernamentales trazadas para el estímulo de las energías renovables.

4.4.1. Proyectos realizados

Los proyectos realizados que actualmente están en operación son únicamente dos, y estos son los que en conjunto tienen una capacidad de 50 MW, es decir el 5 % del total de potencial diagnosticado para Guatemala. Ver tabla XVI.

Tabla XVI. **Centrales geotérmicas en Guatemala**

Ubicación	Nombre	Propietario	Tipo de Planta	Potencial en MW	Capacidad Instalada en MW
Quetzaltenango	Zunil I	ORMAT <i>Industries Inc.</i>	Binaria	50	25.2
Guatemala	Calderas	INDE / EGEE		200	24
Suma				250	49.2
Porcentaje utilizado					19.68 %

Fuente: elaboración propia.

4.4.1.1. **Gobierno**

El INDE es la institución gubernamental encargada de la administración de la central geotérmica Calderas a través de la EGEE. Dicha central geotérmica se encuentra en Amatitlán y es la única existente como iniciativa del sector público teniendo una capacidad del 24 MW y un potencial de 200 MW, en consecuencia es posible afirmar que apenas se aprovecha un 12 % del potencial del reservorio geotérmico. Ver tabla XVI.

4.4.1.2. **Privados**

La empresa encargada de gestionar los recursos geotérmicos en el país es la transnacional ORMAT Industries Inc. responsables de la gestión de la central geotérmica Zunil I ubicada en el departamento de Quetzaltenango. Esta central geotérmica tiene una capacidad de 25,2 MW y su reservorio tiene una potencial de 50 MW, en consecuencia se ha aprovechado un 50,4 %.

4.4.2. Proyectos de desarrollo

La Asociación de Generadores con Energías Renovables (AGER) promueve la inversión en proyectos de generación de energía geotérmica. Ante una presentación de la Cámara de Comercio e Industria en Guatemala se solicitó a las autoridades que se impulsen las licitaciones en este sector, haciendo énfasis en que se incluyan licitaciones para el suministro de los 1 000 MW de potencial existente en el país para el 2015-2030.

4.4.2.1. Gobierno

El INDE se ha limitado a la administración de la central geotérmica con la que cuenta actualmente, y ha colaborado en la identificación de áreas propicias para la instalación de centrales geotérmicas con el motivo de fomentar la inversión en el país.

4.4.2.2. Privado

En septiembre del 2011, el Gobierno de Guatemala a través del MEM otorgó dos concesiones a la empresa Centram Geothermal, que se enfocará ahora en analizar el potencial y su eventual desarrollo.

Las concesiones otorgadas son Joaquina y Atitlán, la primera consiste en una superficie de 9 km², localizada 35 kilómetros al noreste de Ciudad de Guatemala, mientras que la segunda abarca una superficie de 483 km², con tres volcanes y ubicada 144 kilómetros al noroeste de la capital. Centram Geothermal es una empresa especializada en la explotación y desarrollo de recursos geotérmicos en Centro América.

El objetivo de la compañía es crear valor para los accionistas por medio de la adquisición, exploración y posterior desarrollo de los proyectos geotérmicos. En ese mismo año, el MEM otorgó una licencia temporal para la exploración de energía geotérmica a los proyectos Gloria y La Chinita.

Dicha licencia fue otorgada con el propósito de realizar una exploración geotérmica a la empresa Recursos del Golfo, S. A. El primer proyecto abarcaría los municipios de El Jícaro y San Cristóbal Acasaguastlán, en el departamento del Progreso y los municipios de Cabañas y Usumatlán, en el departamento de Zacapa.

El segundo proyecto estaría ubicado en los municipios de Chuarrancho, San José del Golfo, San Pedro Ayampuc, Chinautla y Palencia, del departamento de Guatemala y también en los municipios de San Antonio, La Paz y Sanarate en el departamento de El progreso.

En octubre del 2012, se firmó un memorando de entendimiento vinculante en el que se establece el acuerdo de compra de energía para el proyecto geotérmico El Cebillo, cuya capacidad será de 50 MW y sus instalaciones estarán próximas a la ciudad de Guatemala, su propietario es la empresa U.S. Geothermal. Para dicha planta geotérmica se invertirá cincuenta millones de dólares.

El proyecto prevé iniciar su producción a fines de 2015, si se cumple exitosamente con las obras de perforación de los pozos y el financiamiento de la obra.

4.5. Perspectiva de crecimiento de la energía hidráulica

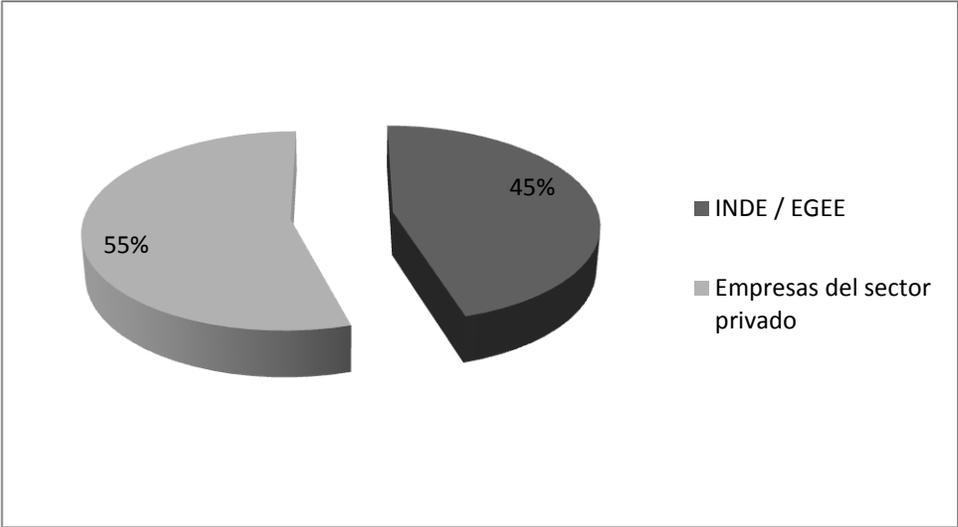
Al igual de que en la energía geotérmica, la perspectiva del crecimiento de la energía hidráulica se ve influenciada principalmente por el potencial hídrico del país, de manera adicional es posible identificar que las políticas creadas para la explotación de energías renovables también ha influenciado para la creación de más proyectos hidroeléctricos.

A diferencia de la energía geotérmica, el potencial hídrico de Guatemala es seis veces más grande y en consecuencia no es de extrañar que el futuro de la utilización de este tipo de recurso sea más prometedor que otras fuentes de energías renovables.

4.5.1. Proyectos realizados

Dado que según la Ley General de Energía Eléctrica en Guatemala es libre la generación de energía eléctrica dentro del territorio nacional, es posible identificar instituciones tanto del sector público como del privado en dicha producción. Su participación se muestra en la figura 28.

Figura 25. Participación del sector público y privado en la generación de energía eléctrica en Guatemala



Fuente: elaboración propia.

4.5.1.1. Gobierno

Como se ha mencionado anteriormente, la entidad gubernamental encargada de la gestión de recursos hidroeléctricos en Guatemala es el INDE. Los proyectos que están a cargo de la empresa generadora de energía eléctrica se muestran en la tabla XVII.

Tabla XVII. **Hidroeléctricas a cargo de EGEE**

Nombre de hidroeléctrica	Entidad propietaria	Potencia en MW
Aguacapa	EGEE / INDE	90,00
Chichaic	EGEE / INDE	0,60
Chixoy	EGEE / INDE	300,00
El porvenir	EGEE / INDE	2,28
El Salto	EGEE / INDE	2,00
Jurún Marinalá	EGEE / INDE	60,00
Los Esclavos	EGEE / INDE	15,00
Palin 2	EGEE / INDE	5,80
Santa María	EGEE / INDE	6,88
Total		482,56

Fuente: elaboración propia con base información proporcionada por el MEM y la CNEE.

4.5.1.2. Sector privado

La participación del sector privado en la generación de energía eléctrica también ha sido una piedra angular en la explotación de recursos hídricos, prueba de ello es que tienen una mayor participación en la matriz energética actual. Las hidroeléctricas a cargo del sector privado junto con su ente propietario se muestran en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. **Hidroeléctricas en el sector privado**

Nombre de hidroeléctrica	Entidad propietaria	Potencia en MW
Cholomá	Grupo Secacao	10,00
Covadonga	Finca Covadonga	16,00
Cuevamaría	Recursos Energéticos Pasac, S. A.	9,30
Del Canadá	Generadora de occidente, S. A.	47,00
El recreo	Hidrotoma S. A.	20,70
Entre Ríos	Corrientes del Río, S. A.	8,25
Hidro Xacbal	Hidro Xacbal, S. A.	94,00
Las Vacas	Hidro Río Las Vacas, S. A.	40,00
Matanzas	<i>Tecnoguat S. A.</i>	12,00
Montecristo	Generadora Montecristo, S. A.	13,00
Palo Viejo	Renovables de Guatemala S. A.	84,00
Panan	Inversiones Atenas S. A.	6,90
Pasabien	Inversiones Pasabien, S. A.	12,80
Poza Verde	Papeles Elaborados, S. A.	12,17
Renace	Rencae S. A.	68,10
Río Bobos	Hidronorte, S. A.	10,00
Santa Teresa	Agrocomercializadora Polochic, S. A.	24,00
Santiagouito	Generadora de occidente, S. A.	47,40
Secacao	Grupo Secacao	16,50
Total		552,12

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el MEM y la CNEE.

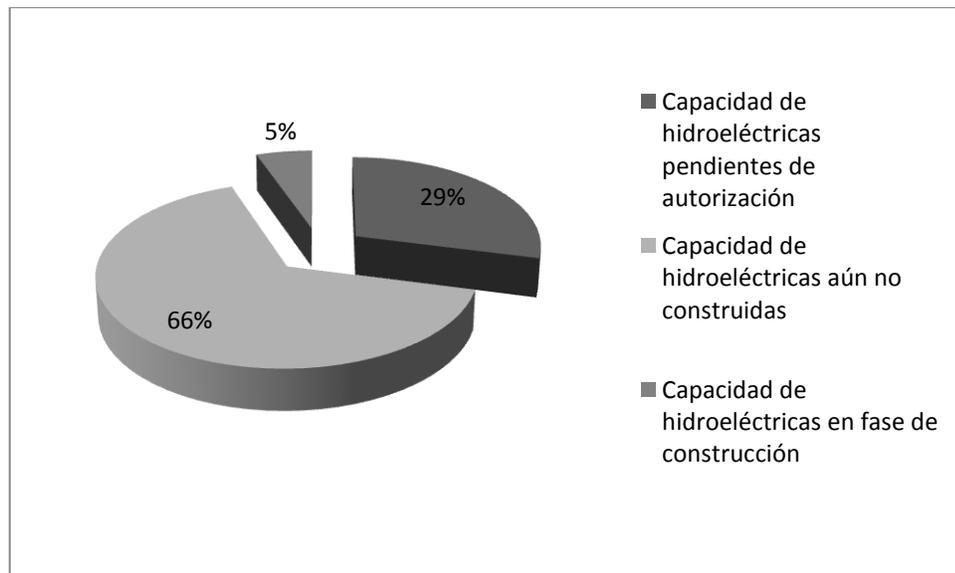
4.5.2. Proyectos en desarrollo

Los trámites para la generación de energía hidráulica son similares a los de energía geotérmica según lo establecido en la Ley General de Electricidad, sin embargo, el interés que se tiene de explotar los recursos hídricos es mucho mayor dado que actualmente existen una gran cantidad de proyectos en desarrollo. Estos se clasifican en:

- Hidroeléctricas en construcción: están en fase de construcción para tener una fase de operación en corto tiempo.
- Hidroeléctricas aún no construidas: hidroeléctricas que ya cuentan con la aprobación del MEM pero que aún no han iniciado su fase de construcción.
- Hidroeléctricas pendientes de autorización: hidroeléctricas que aún no han recibido respuestas por parte del MEM, o bien, que aún no han cumplido los requisitos que demanda dicha institución.

Todos estos proyectos en desarrollo al convertirse en realidad podrían llegar a tener una capacidad de 1 130,32 MW, la forma en que se distribuye dicha capacidad se muestra en la figura 29.

Figura 26. **Composición de la capacidad de proyectos hidroeléctricos en desarrollo**



Fuente: elaboración propia.

4.5.2.1. Gobierno

El INDE se ha limitado a la administración de las hidroeléctricas con las que cuenta actualmente, y ha colaborado en la identificación de áreas propicias para la instalación de centrales hidroeléctricas con el motivo de fomentar la inversión en el país.

4.5.2.2. Sector privado

El sector privado es quien ha acaparado la mayoría de ofertas propuestas por el INDE, puesto que toda la perspectiva de desarrollo de este recurso recae en instituciones privadas tanto nacionales como internacionales. Ver tabla XIX.

Tabla XIX. **Hidroeléctricas en fase de construcción**

Nombre	Entidad propietaria	Potencia en MW	Ubicación
Sulín	Central Sulín	19,00	Baja Verapaz
El manantial	J.J. Cohen	35,00	Quetzaltenango
El Cobano Hidro	El Cobano	7,00	Santa Rosa
Capacidad de hidroeléctricas en fase de construcción		61,00	

Fuente: elaboración propia.

Las hidroeléctricas que aún están en construcción muestran que la potencia que pretenden administrar a corto plazo es de 61 MW, sin embargo, el tiempo de construcción es incierto dado diferentes factores tanto técnicos como sociales y/o políticos. Ver tabla XX.

Tabla XX. **Hidroeléctricas que aún no iniciado construcción**

Nombre	Entidad propietaria	Potencia en MW	Ubicación
Río Hondo II	Hidro río Hondo	32,00	Zacapa
Tres Ríos	Hidro Tres Ríos	49,19	San Marcos
Finca Lorena	AGEN	23,00	San Marcos
Las Ánimas	Grupo Catedral	10,00	Izabal
Las brisas		36,9	
Renace II	Renace (CMI)	130,00	Alta Verapaz
San Cristobal	<i>Duke Energy</i>	19,00	Alta Verapaz
El Volcán	Energía Limpia de Guatemala	26,00	Alta Verapaz
Cuatro Chorros	Generación Limpia	36,00	Quiché
El Sisimite	Generación Nacional	40,00	Guatemala
Santa Rita	Hidro Santa Rita	19,47	Alta Verapaz
Entre Ríos	Corrientes del río	8,25	Alta Verapaz
El Orégano	desarrollos las Tres Niñas	120,00	Chiquimula y Zacapa
La Vega I	Hidroxil	38,00	Quiché
Hidro Sala	Hidro Salá	15,00	San Marcos
Las Fuentes II	Hidro del Ocosito	12,00	Quiché
La Vega II	Hidroxil	18,72	Quetzaltenango
Pojom II	Generadora San Mateo	23,00	Huehuetenango
Desarrollos Peña	<i>Hidroven</i>	10,00	Chimaltenango
Xacbal Delta	Energía Limpia	75,00	Quiché
Capacidad de hidroeléctricas aún no construidas		741,53	

Fuente: elaboración propia.

Las hidroeléctricas que ya tienen autorización por parte del MEM y que aún no han iniciado su construcción aportarían 741,53 MW a los diferentes consumidores. Cabe resaltar que con una capacidad instalada de esta magnitud alcanza para modificar totalmente la forma en que Guatemala genera su electricidad puesto que los combustibles fósiles ya no encabezarían la lista en la matriz energética del país.

Tabla XXI. **Hidroeléctricas en trámites administrativos**

Nombre	Entidad propietaria	Potencia en MW	Ubicación
Cahabon10	Generación Limpia de Guatemala, S. A.	62,80	Alta Verapaz
Las Brisas	Hidroeléctrica Las Brisas, S. A.	28,00	El Quiché
Pojoml	Generadora del rio, S. A.	10,20	Huehuetenango
El Radual	Hidroeléctrica el Radual, S. A.	12,00	Petén
El Cafetal	Hidro Juminá	8,36	Baja Verapaz
Raaxha	Hidroeléctrica Raaxha, S. A.	10,00	Alta Verapaz
La Campana	Binajcap, S. A.	4,90	Quiché
Oxec	Oxec, S. A.	25,50	Alta Verapaz
San Andrés	Generadora San Andrés, S. A.	10,80	Huehuetenango
La Esmeralda	Hidroeléctrica Esmeralda, S. A.	18,23	Alta Verapaz
La Cascada	Enel Guatemala, S. A.	137,00	Huehuetenango
Capacidad de hidroeléctricas pendientes de autorización		327,79	

Fuente: elaboración propia.

4.6. Red de distribución

Acorde a lo establecido en la Ley General de Electricidad, un distribuidor es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica.

El sistema de distribución de Guatemala está conformado por líneas, subestaciones y las redes de distribución que operan en media tensión. En Guatemala, son tres las principales empresas que prestan servicio de distribución de energía eléctrica, así como también las empresas municipales. Ver tabla XXII.

Tabla XXII. **Empresas distribuidoras de Guatemala y su consumo anual**

Empresa	Lugar donde opera	Participación en consumo en GW	Porcentaje asociado
Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A. (EEGSA)	Región metropolitana, parte de la central y suroccidental	2 863,66	36 %
Distribuidora de Electricidad de Occidente, S. A. (DEOCSA)	Región Noroccidental, Suroccidental, parte de la central	873,83	11 %
Distribuidora de Electricidad de Oriente, S. A. (DEORSA)	Región Norte, Nororiental, Suroriental y Petén	1195,29	15 %
Empresa Eléctrica Municipal	Algunas cabeceras municipales dispersas en Guatemala	496,48	6 %
Otros consumidores de energía		2 585,41	32 %
Total de potencia consumida		8 014,67	100 %

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el plan de expansión de transmisión de Guatemala elaborado por la CNEE

La tabla muestra que la red de distribución consume un 67 % del total de energía generada en el país, es decir alrededor 5 429,26 GW. Por otra parte, dentro de los otros consumidores se puede encontrar:

- Comercializadores
- Consumos propios
- Grandes usuarios
- Pérdidas
- Exportaciones a través del SIEPAC

Figura 27. **Territorio ocupado por los principales distribuidores en Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

4.6.1. Capacidad para venta de energía geotérmica

Las plantas geotérmicas tienen la capacidad de vender la energía eléctrica a los diferentes agentes del mercado mayorista. En consecuencia, las centrales geotérmicas de Guatemala en relación a los distribuidores son abastecido de energía por la empresa a cargo de sus respectivas regiones, es decir que la planta ubicada en el departamento de Quetzaltenango (Zunil I) provee de energía a EEGSA, al igual que la central de Calderas dado que se ubica en el departamento de Guatemala.

Cabe resaltar que la energía geotérmica presenta una ventaja competitiva en relación a otras alternativas renovables, pues la única que permite generar energía eléctrica las 24 horas del día los 365 días del año por sus características inherentes, por esta razón son capaces de vender la capacidad que tienen instalada de manera continua.

4.6.2. Capacidad para venta de energía hidráulica

A diferencia de la energía geotérmica, la capacidad instalada en una central hidroeléctrica no necesariamente será la capacidad de venta, esto se debe a que estas centrales dependen del volumen del recurso hídrico y este estará en función de las lluvias y tormentas que se registren en el país.

A pesar de la falta de constancia del suministro de energía por parte de las centrales hidroeléctricas, estas también venden su energía a los distribuidores en función de la región donde se encuentra. Las centrales hidroeléctricas, al igual que cualquier otro generador, pueden variar a quien le venden energía eléctrica, el encargado de realizar las gestiones es el AMM de conformidad con lo establecido en la Ley General de Electricidad.

4.6.3. Cálculo de costos por capacidad de generación

Los costos de un proyecto de energía renovable son variables, puesto que una vez que estos están en operación surgen determinados rubros contables que incidirán en la generación de energía eléctrica. En Guatemala el Reglamento de la Ley General de Electricidad establece los costos de suministro que están en función de la capacidad de generación, estos costos son:

- Costos de las instalaciones: corresponden al costo de reposición de todos los equipos utilizados para suministrar la energía eléctrica a los usuarios en el instante en el que se calculan las tarifas. Estos costos se obtendrán de acuerdo al concepto de una empresa eficiente. Se calculará la anualidad de inversión con la tasa de actualización que calcule la CNEE con base a estudios contratados con empresas especializadas y deberá basarse en la rentabilidad de actividades realizadas en el país con un riesgo similar.
- Costos de consumidores: comprenden la supervisión, mano de obra, materiales y costos de las actividades de medición, facturación, cobranza, registro de usuarios y otros relacionados con la comercialización de la actividad.
- Los impuestos y tasas a considerar: serán aquellos que conforme a la ley graven la actividad de distribución y que constituyen un costo para el distribuidor, a excepción del impuesto sobre la renta.
- Los costos de operación: comprenden la supervisión, ingeniería de operación, mano de obra, despacho de carga, operación de instalaciones, alquileres de instalaciones y otros relacionados con la operación de los bienes afectos a la actividad de distribución.
- Los costos de mantenimiento: comprenden supervisión, ingeniería de mantenimiento, mano de obra, materiales, mantenimiento de equipos, instalaciones, estructuras, edificios y otros relacionados con el mantenimiento de los bienes afectos a la actividad de distribución.
- Los costos administrativos y generales comprenden: sueldos administrativos y generales incluyendo beneficios sociales²¹, materiales, gastos de oficina, servicios externos contratos, seguros de propiedad, alquileres, gastos de regulación y fiscalización, mantenimiento de propiedad y otros relacionados con la administración.

²¹ Revisar inciso 1.2.7 relacionado a utilización de la energía hidráulica en el área rural.

- Una componente razonable de sanciones correspondiente a una empresa que preste un servicio con una calidad de servicio adecuada, según las normas que establezca la CNEE.

Los costos descritos anteriormente aplican tanto para energía geotérmica como para energía hidráulica, cabe resaltar que dentro de los costos de operación no se encuentra el rubro de insumos, puesto que son energías cuyos insumos son restituidos de manera natural.

4.6.3.1. Geotérmica

La determinación de costos de generación de electricidad a partir de un reservorio geotermal no resulta sencilla sino se dispone de datos propios, es decir, si no se cuenta con experiencias a escala a nivel nacional, puesto que en la mayoría de los casos las instalaciones se adaptan a las posibilidades técnico económico del lugar. Si se requiere de datos más significativos resultaría necesario efectuarlos estudios correspondientes de manera local.

El modelo matemático mencionado anteriormente no es posible utilizarlo para generar datos concretos sobre el costo global dado que como se explicó abarca únicamente el costo de inversión.

El tipo del yacimiento y su calidad juegan un papel de vital importancia para determinar los costos por capacidad instalada, puesto que la variación de estos afectará de manera directa tanto el costo de inversión como los costos de operación y mantenimiento. Ver tabla XXIII.

Tabla XXIII. **Estimación de costos de centrales geotérmicas**

Costos	Tipo de central	
	Geotérmica a vapor	Geotérmica Binaria
Costos de exploración y excavación USD/kW	700	500
Costo Unitario de inversión USD/kW	800	1 600
Costos operacionales USD/kW por año	100	100

Fuente: [http://materias.fi.uba.ar/6723/pdf/Costos_de_la_Generaci_n_Geot_rmica %5b1%5d.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6723/pdf/Costos_de_la_Generaci_n_Geot_rmica_%5b1%5d.pdf). Consulta: 29 de julio del 2013.

4.6.3.2. Hidráulica

Utilizando el modelo matemático descrito en el inciso de costos para la inversión de un proyecto energético, en el apartado para energía hidráulica, se evaluó diversas capacidades para mostrar de manera un aproximado del monto requerido en función de la capacidad que se pretenda instalar. Ver tabla XXIV.

Tabla XXIV. **Estimación de costo para centrales hidroeléctricas**

Capacidad den MW	En millones de dólares
5	\$ 12,77
10	\$ 23,83
20	\$ 44,47
30	\$ 64,05
50	\$ 101,44
100	\$ 189,29
150	\$ 272,65
200	\$ 353,22
300	\$ 508,78
500	\$ 805,74

Fuente: elaboración propia.

5. ANÁLISIS AMBIENTAL POR USO DE ENERGÍA GEOTÉRMICA E HIDRÁULICA

Si bien el uso de energías renovables reduce de manera considerable la contaminación al medio ambiente, esto no implica que no tengan efectos colaterales. De hecho, al verlo de manera imparcial la construcción de cualquier infraestructura en Guatemala requiere de un estudio ambiental riguroso previo a solicitar los permisos de construcción en las instituciones correspondientes.

Por lo mencionado anteriormente es más que evidente que la construcción de una central hidroeléctrica que requiere de una represa afecta de manera directa al medio ambiente, puesto que para su construcción implica la pérdida de grandes extensiones de tierras que pueden o no ser agrícolas o simplemente parte de la flora silvestre y como consecuencia también se ve afectada la fauna del área.

En relación a plantas geotérmicas, los estudios de impacto ambiental son esenciales porque los fluidos geotermales, la mayoría de las veces, contienen contaminantes que no deben ser liberados a la atmósfera una vez utilizados.

Además que este tipo de planta también requiere de una construcción que puede ser vista muy mal si se construye en una reserva natural por el impacto visual una vez puesta en marcha.

Si bien el impacto ambiental de la construcción de una central ya sea geotérmica o hidroeléctrica es perceptible, al compararlo con otras fuentes de energía no renovable, se ve una clara reducción de los desechos y contaminantes producidos, lo cual no exime a las centrales de energías renovables puesto que éstas deben tomar las medidas de mitigación necesarias para retribuir el daño ocasionado.

5.1. Ahorro energético

Este término usualmente va de la mano con la eficiencia energética puesto que el uso óptimo de recursos implica un ahorro ya sea en la generación o consumo de la energía. En relación a la generación, esto es posible lograrlo con centrales eléctricas que muestran altos rendimientos, o por medio de la cogeneración que puede producir de manera simultánea energía eléctrica y energía térmica útil, tal es el caso de la energía geotérmica.

5.2. Teoría y conceptos generales

En términos ambientales, al utilizar energías renovables surge un ahorro por la generación de energía eléctrica cuya base sea la energía geotérmica o hidráulica. Dicho ahorro se puede presentar en:

- Dióxido de carbono: es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono, su fórmula es CO_2 . Este gas es uno de los más abundantes en la tierra, también se le considera un gas de efecto invernadero. La producción de un kWh de electricidad se pueden hacer usando diferentes fuentes de energía, cada fuente puede ser caracterizado por un factor que indica cuántas unidades de masa de CO_2 son producidas a la atmósfera para producir 1 kWh de

electricidad. Algunas de las fuentes de energía son el petróleo, el gas natural, carbón, gradientes de agua (hidroeléctrica), el calor interno de la tierra (geotérmica), eólica (viento), solar (fotovoltaica, solar térmica), biomasa, etc. Según la International Energy Agency (IEA), Guatemala se posiciona en el puesto 129 a una escala a nivel mundial en relación a la emisión de CO₂, con una contribución de 285,6792 kg/kW.

- Sumideros: es un valle en forma circular que actúa como un desagüe natural para el agua de lluvia o corrientes como ríos o arroyos. Generalmente se forman de piedra caliza, donde se filtra agua ligeramente ácida que poco a poco carcome el suelo hasta que se forma una cueva subterránea y el agua que se sigue filtrando provoca el derrumbe del techo de dichas cuevas. Los sumideros alimentan el caudal de los ríos subterráneos que su vez suelen alimentar acuíferos que son importantes fuentes de agua, tanto para humanos como para ciertos hábitats.
- Barriles de petróleo: es una unidad establecida en 1866, su equivalente es de 42 galones y peso aproximadamente 136 kg. Así pues un barril de petróleo equivale a 1 700 kWh.

La explotación de los recursos naturales conlleva una serie de efectos y consecuencias, lo cual se denomina impacto del potencial geotérmico o hidroeléctrico. Los efectos se verán reflejados en tres tipos de medios, estos son:

- Físico: abarca todos los seres vivos y no vivos que existen de manera natural en la tierra.
- Biótico: abarca todos los seres vivos de un área determinada, así como sus interacciones. Eventualmente se hace referencia a la flora y fauna de un ecosistema.

- Socioeconómico: abarca los aspectos culturales, sociales y económicos de la población en el ámbito de intervención de un proyecto.

5.3. Cálculo de ahorro por uso de generación geotérmica

La implementación de centrales geotérmicas no solamente contribuye a reducir la contaminación en comparación con otras fuentes de energía no renovable, sino que también tiene gran incidencia en la economía y otros aspectos para el país. A continuación se mostrará la forma en que se obtienen ahorros tomando como parámetro fuentes de energía no renovable.

5.3.1. Dióxido de carbono

Las plantas geotérmicas emiten dióxido de carbono y la cantidad emitida estará en función del tamaño de la producción de la planta, sin embargo, las plantas geotérmicas ofrecen una opción respetuosa para el medio ambiente frente a las que utilizan combustibles fósiles convencionales.

Según la Geothermal Energy Association (GEA) las plantas geotérmicas producen 0,08181 kg/kWh, este dato es un poco ambiguo, puesto que la emisión de CO₂ no se ve reflejada únicamente por el tipo de central eléctrica dado que también influye la eficiencia de la maquinaria, la magnitud, entre otros.

Tabla XXV. **Cálculo de ahorro de dióxido de carbono para el 2011
sustituyendo centrales geotérmicas por geotérmicas**

Fuente de energía	Emisión de CO ₂ en kg/kW	Producción en Guatemala en el año 2011 en MW a partir de fuentes no renovables	Emisión total dentro del país en kg
Gas Natural	0,44	No utilizado	0
Petróleo	0,71	1 856,79	1 318 320,9
Biomasa	0,82	873,74	716 466,8
Carbón	1,45	1 084,54	1 572 583
	0,780680299	3 815,07	3 607 370,7
	Media	Totales	

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el MEM.

Tomando como referencia el dato proporcionado por la institución mencionada anteriormente y la producción en MW de Guatemala para el año 2011 (ver tabla XXV), el ahorro hipotético al sustituir la producción de electricidad cuya fuente son las centrales termoeléctricas por centrales geotérmicas se calcula como se muestra a continuación:

Ahorro de CO₂

= *Emisión de CO₂ usando centrales termoeléctricas*

– *Emisión de CO₂ usando plantas geotérmicas*

$$\text{Ahorro de CO}_2 = 3\,707\,370,7 \text{ Kg} - \frac{0,08181 \text{ kg}}{\text{KWh}} * 3\,815,07 \text{ MW} * \frac{1\,000 \text{ KW}}{1 \text{ MW}}$$

$$\text{Ahorro de CO}_2 = 3\,295\,259,82 \text{ Kg}$$

5.3.2. Sumideros

Un sumidero es una especie de agujero, también conocido como una depresión geológica que se forma sobre la superficie terrestre. Su principal función es actuar como un desagüe, específicamente para una central geotérmica su principal función es la de filtración.

El proceso de filtración se da de manera natural cuando se analiza una central geotérmica dado que en este caso se genera un filtro de piedra caliza que permite únicamente el flujo de agua ligeramente ácida hacia el reservorio, de esta manera se reinicia el ciclo para una fuente de energía renovable.

Comparado con los sumideros que generan otras fuentes de energía no renovable, en cuyo caso se construyen para mitigar daños al medio ambiente el ahorro de sumideros utilizando energía geotérmica es considerablemente menos dañino.

5.3.3. Barriles de petróleo

Según el MEM, la matriz energética de Guatemala tiene una reserva de 195 146 605 barriles de petróleo, de estos consume 10 500 barriles diarios para la producción de energía eléctrica.

Esto lleva a suponer que Guatemala cuenta con una reserva que durará los próximos 50 años, sin embargo dado que el petróleo no es renovable, al terminarse ya no podría utilizarse para volver a generar energía.

El potencial geotérmico es casi suficiente para satisfacer la demanda total del país, en consecuencia también lo es para sustituir el petróleo y sus derivados en la matriz energética, hipotéticamente hablando, de aprovechar el potencial geotérmico del país se dejaría de utilizar una gran cantidad de petróleo para la generación de electricidad y podría utilizarse en otras actividades económicas que generen mayores divisas para el país.

5.4. Cálculo de ahorro por uso de generación hidráulica

La implementación de centrales hidroeléctricas no solamente contribuye a reducir la contaminación comprándolas con otras fuentes de energía no renovable, sino también tiene gran incidencia en la economía y otros aspectos para el país.

A continuación se mostrará la forma en que se obtienen ahorros tomando como parámetro fuentes de energía no renovable.

5.4.1. Dióxido de carbono

Al igual que una central geotérmica, las centrales hidroeléctricas también generan dióxido de carbono. Las emisiones realizadas por centrales hidroeléctricas son menores en comparación a centrales geotérmicas, de hecho es cuatro veces menor.

Según un estudio realizado llamado "*Comparing Greenhouse-Gas Emissions and Abatement Costs of Nuclear and Alternative Energy Options from a Life-Cycle Perspective*", las emisiones de CO₂ emitidas por una central hidroeléctrica alcanza 0,02 kg/kWh.

Tomando como referencia el dato proporcionado por el estudio mencionado anteriormente y la producción para el 2011 de energía eléctrica (ver tabla XXV), el ahorro hipotético al sustituir la producción de electricidad cuya fuente son las centrales termoeléctricas por centrales hidroeléctricas se calcula como se muestra a continuación:

Ahorro de CO₂

= *Emisión de CO₂ usando centrales termoeléctricas*

– *Emisión de CO₂ usando plantas hidroeléctricas*

$$\text{Ahorro de CO}_2 = 3\,707\,370,7 \text{ Kg} - \frac{0,02 \text{ kg}}{\text{KWh}} * 3\,815,07 \text{ MW} * \frac{1\,000 \text{ KW}}{1 \text{ MW}}$$

$$\text{Ahorro de CO}_2 = 3\,531\,069,3 \text{ Kg}$$

5.4.2. Sumideros

Como se describió anteriormente el sumidero es una depresión geológica, sin embargo, cuando se analiza en una central hidroeléctrica y la forma en que se relacionan surge los ríos y arroyos como objeto de estudio. Lamentablemente los sumideros se han utilizado como vertederos o depósitos de desperdicios que afectan la calidad del agua.

Los sumideros son de vital importancia para las centrales hidroeléctricas, pues estos se encargan de limpiar o extraer todos aquellos objetos sólidos que podrían causar un daño a la turbina a la hora de que se utilice el agua. Es decir que los sumideros ayudan a filtrar el agua que se almacenará en la presa para su uso posterior.

5.4.3. Barriles de petróleo

Al igual que en la energía geotérmica, el potencial hidráulico en Guatemala es mucho mayor y es más que suficiente no solo para satisfacer la demanda del país sino también la oferta de otras fuentes energéticas adicional a la del petróleo sus derivados.

La eliminación del uso de barriles de petróleo en la matriz energética no solamente contribuiría al desuso de recursos no renovables, dado que también se reducirían las emisiones de CO₂ puesto que la utilización del petróleo tiene una tasa de emanación de 0,71 kg/kWh, siendo esta una de las más altas.

5.5. Impacto potencial geotérmico

Los impactos ambientales potenciales debidos a los desarrollos geotérmicos son similares a los de cualquier otra operación industrial. Las plantas geotérmicas tienen un impacto ambiental menor que otros tipos de plantas térmicas que producen electricidad, y en muchos casos menores que las plantas hidroeléctricas cuando se consideran los problemas causados por la construcción masiva. En Guatemala no existe un documento que regule las medidas de construcción de una central geotérmica.

5.5.1. Medio físico

Los efectos colaterales que conlleva la construcción de una central geotérmica y que afecta al medio físico son:

- Calidad del aire: el principal gas liberado en las plantas geotérmicas es dióxido de carbono, pero la liberación por potencia producida es mucho

menor en comparación a cualquier planta de combustibles fósiles. En ciertos casos se emite ácido sulfhídrico, cuyo olor es altamente desagradable. Este no es el peor aspecto, puesto que en grandes cantidades no se percibe y es letal.

- Agua: las aguas próximas se pueden ver contaminadas con arsénico y amoníaco. Por otra parte, los campos geotérmicos de agua caliente presentan problemas de distinta naturaleza. Toma de 100 a 150 libras de agua caliente producir un kWh de electricidad. El manejo y la eliminación de estas grandes cantidades de agua por unidad de potencia son la causa de la mayoría de los problemas de las plantas geotérmicas de este tipo.
- Agua subterránea: la contaminación de las aguas subterráneas puede ocurrir por: fluidos de perforación, rupturas en la cubierta de los pozos de reinyección (filtrándose el fluido almacenado), y por estanques de evaporación y retención que no sean impermeables. El agotamiento de las aguas subterráneas, se produce bajo circunstancias en que los campos geotérmicos se encuentran a altas temperaturas. Esto se puede evitar manteniendo la presión del reservorio. También puede haber disminución por rupturas en la cubierta del pozo.
- Ruido: algunas operaciones de rutina de los campos de vapor geotérmicos son extremadamente ruidosas. La principal fuente de ruido es intermitente y actúa solo durante el periodo de prueba inicial, cuando se abre por primera vez un pozo para limpiarlo de rocas y otros desechos de la perforación. El ruido dura solo algunas horas. Los estallidos también son muy ruidosos, pero ocurren con poca frecuencia.
- Suelo y subsuelo: la principal preocupación frente al aprovechamiento de energía geotérmica, es el hundimiento de la tierra debido al drenaje de aguas calientes o por el vapor de capas subterráneas. Existen potenciales contaminantes asociados a las fuentes geotérmicas,

incluyendo: sulfuros de hidrógeno, dióxido de carbono, amoníaco, metano y ácido bórico, junto con cantidades de mercurio, arsénico, y otros elementos. Hay eventos catastróficos que pueden ocurrir en lugares geotérmicos. En zonas donde la actividad sísmica es frecuente, la reinyección de fluidos en el terreno durante la explotación, puede incrementar la frecuencia de sismos a pequeña escala que normalmente ocurren en el lugar. Los efectos de esto se pueden mitigar, reduciendo la presión de la reinyección al mínimo posible, y construyendo edificaciones antisísmicas.

En épocas anteriores, ocurrían explosiones en los pozos, pero estos eventos son raros en la actualidad gracias a los avances técnicos. Las erupciones son extrañas, pero ocurren cuando la presión del vapor en los acuíferos cercanos a la superficie, se acumula y eyecta el suelo sobre ellos, creando un cráter. Este efecto depende del control de presión en el reservorio, y a la vez se puede evitar excavando en superficies que no estén potencialmente activas. Muchas zonas geotérmicas están en áreas donde la topografía presenta acantilados, y por ello son propensas a derrumbes. Esto puede provocar serios accidentes si las rocas al caer dañan los pozos o las tuberías, liberando vapor y líquidos calientes.

5.5.2. Medio biótico

Los efectos colaterales que conlleva la construcción de una central geotérmica y que afecta al medio biótico son:

- Flora: en la fase de construcción de un proyecto geotérmico, una gran cantidad de árboles pueden ser talados, generando un impacto en la biodiversidad que lo rodea. Sin embargo, una vez construido dicho proyecto, que por lo demás está acotado a un área determinada; los árboles pueden ser recuperados mediante un programa de reforestación de la zona.
- Fauna: la fauna no se verá desplazada en gran medida puesto que las centrales geotérmicas no requieren de grandes extensiones de tierra para su implementación, sin embargo, la restitución de las diferentes especies puede verse afectada ya sea por el hundimiento de tierras o por los malos olores emanados de la planta.

5.5.3. Medio socioeconómico

Los efectos colaterales que conlleva la construcción de una central geotérmica y que afecta al medio socioeconómico son:

- Economía: las centrales geotérmicas generan empleo, en consecuencia las poblaciones que viven cerca pueden verse beneficiadas mientras el proyecto este en operación. Además tiene gran impacto sobre la economía nacional dado que es más barato en comparación con otras alternativas que utilizan combustibles fósiles o gas natural (este aspecto también es aplicable para centrales hidroeléctricas).
- Social: cuando se trata del desarrollo de energía geotérmica, los ambientalistas y los seguidores de energía alternativa, se colocan en lugares opuestos. Hay quienes están en ambos lados del asunto y que pueden citar razones ambientales a favor y en contra del desarrollo geotérmico. Así también comunidades nativas del lugar del área de influencia también pueden presentar una resistencia al cambio por

diferentes motivos (este aspecto también es aplicable para centrales hidroeléctricas).

- Paisaje: las plantas geotérmicas son generalmente de bajo perfil. Sin embargo, su impacto visual puede ser significativo, porque los campos geotérmicos generalmente se sitúan en lugares de una gran belleza natural, o contienen atractivos tales como geiseres y piscinas calientes, de atractivo turístico. La explotación de un sistema geotérmico conlleva a la disminución de la presión del reservorio, lo cual puede reducir el potencial que otorga tal atractivo turístico a la zona.

5.6. Impacto potencial hidroeléctrico

La explotación de recursos hídricos, como se ha mencionado tiene consecuencias ambientales, estas se pueden ver reflejadas en el medio físico, biótico y socioeconómico. A diferencia de la energía geotérmica, en Guatemala si existe un estudio realizado por CONAP donde se detalla de manera específica los efectos colaterales durante la construcción y operación de una central hidroeléctrica.

5.6.1. Medio físico

Los efectos colaterales que conlleva la construcción de una central hidroeléctrica y que afecta al medio físico son:

- Calidad del aire: los motores de combustión interna de la maquinaria y equipo de construcción generan emisiones de gases a la atmósfera. Además, el movimiento de tierras genera polvo, incluyendo su traslado a sitios de disposición.

- Ruido: el uso de maquinaria y equipo de construcción, incluyendo los motores de los camiones que trasportarán los materiales y equipos, genera niveles de sonido alto. Ver tabla XXVI.

Tabla XXVI. **Niveles de ruido por el uso de equipo y maquinaria en la fase constructiva**

		60	Nivel de ruido a 50 pies (15m) en dBA					
			70	80	90	100	110	
Equipos con motores de combustión interna	Movimientos de tierra	Compactadores						
		Cargadores						
		Palas traseras						
		Tractores						
		Rascadores						
		Asfaltadoras						
		Camiones						
	Manejo de materiales	Hormigoneras						
		Bombas de hormigón						
		Grúas, móviles						
		Grúas, torre						
	Fijas	Bombas						
		Generadores						
		Compresores						
	Equipo	Llaves neumáticas						
Martillos								
Martinete de impacto								
Otro	Vibrador							
	Sierras							

Fuente: manual de buenas prácticas para proyectos hidroeléctricos. p. 27.

- Suelo y subsuelo: el suelo y la geomorfología se ven alterados por el movimiento de tierras, cambio de pendientes naturales del terreno y aumento de material suelto que puede transportarse y sedimentarse en los taludes y eventualmente en el cauce de los ríos. También puede

haber alteración de la estructura permanente de las terradas aluviales y el suelo cerca del río por la creación del embalse y cambio del régimen de caudales entre la presa y las casas de máquinas. Puede existir un cambio puntual en la morfología del cauce de los ríos debido a la construcción de las obras de derivación.

- Aguas superficiales: los trabajos de construcción de las distintas obras afecta la calidad del régimen del agua superficial. El movimiento de tierras produce que el suelo esté desprotegido y suelto, y ante un evento de precipitación extremo puede ser arrastrado hacia los cuerpos de agua afectando su calidad. Con la construcción de la represa sobre el río, las obras de derivación y descargas de las casas de máquinas, cambia el régimen de agua actual de los ríos.

Las aguas de lluvia de no encausarse adecuadamente a los ríos, podrá contribuir también al aumento de la concentración de sólidos en el agua. La extracción de agua de los ríos para las distintas actividades durante la construcción, al ser succionada fuertemente, suspenderá los sedimentos y deteriora la calidad del agua.

Un efecto aguas abajo es la reducción de la carga de sedimentos que ocurre como consecuencia de la captura de sedimentos en el embalse. Esto resulta en un incremento en la erosión del canal del río aguas debajo de la presa, ya que se desequilibra temporalmente el balance entre erosión y deposición, mientras el río logra nuevamente alcanzar el equilibrio.

5.6.2. Medio biótico

Los efectos colaterales que conlleva la construcción de una central hidroeléctrica y que afecta al medio biótico son:

- Flora: la construcción de las obras requiere del corte de árboles del área de influencia directa del proyecto. El corte de árboles debe ser compensado con la reforestación en otros sitios de la propiedad, así también debe prohibirse la tala de árboles innecesaria.
- Fauna: la construcción de obras requiere de la ahuyenta de la fauna del área de influencia directa del proyecto. La formación de embalses crea condiciones adversas para organismos, aves y especies acuáticas. La presa y obras de derivación cambia el régimen de los caudales afectando a los organismos acuáticos. El movimiento de tierras en particular y las actividades de construcción ahuyentará temporalmente algunas especies que se encuentran en el área de influencia directa y cercana a los cauces. Las actividades de caza deben prohibirse a los trabajadores.

5.6.3. Medio socioeconómico

Durante los trabajos de construcción será necesario contratar mano de obra local, además, se requerirá de distintos servicios que podrán ser prestados por personas y empresas locales.

Los empleados y la demanda de servicios locales serán temporales, solo mientras dure la construcción de las obras. La situación económica de las familias que obtengan empleo o presten servicios durante la construcción será temporalmente mejorada.

- Recursos culturales e históricos: el movimiento de la tierra puede afectar recursos culturales e históricos si hubiese en los sitios donde se construirán las obras. Si por alguna eventualidad, en los trabajos de excavación se encontrara algún vestigio, inmediatamente se suspenderán los trabajos y se solicitara a las entidades correspondientes dictaminar el procedimiento a seguir.
- Paisaje: las obras pueden tener un efecto sobre el paisaje del área de influencia. Tramos de los canales podrán verse desde carreteras principales o secundarias y desde los poblados y comunidades. El paisaje también puede ser afectado por el tránsito de camiones en caminos de terracería, la remoción de la cobertura vegetal por la construcción sobre todo los canales y cámaras de carga, así como por la construcción de obras cercanas y en el cauce del río.
- Seguridad industrial y salud ocupacional: durante los trabajos de construcción podrán ocurrir accidentes laborales. Debido al movimiento vehicular y operación de la maquinaria y equipo, existirá la posibilidad de que ocurra algún accidente laboral, ya sea por error humano o por falla del equipo o maquinaria. Las labores de soldadura eléctrica en la tubería de presión exponen a los trabajadores a humos con óxido de hierro, óxido de manganeso y fluoruros.

CONCLUSIONES

1. El avance de la energía hidráulica ha aumentado de manera considerable en los últimos años, a pesar de que hubo un período en el cual su crecimiento se vio estancado, actualmente lidera la matriz energética en relación a energías renovables; por otra parte no ha ocurrido lo mismo con la energía geotérmica, puesto que su avance a lo largo de la historia ha tenido un crecimiento lento.
2. Actualmente las políticas públicas en relación con la energía renovable promueven el crecimiento de estas, de hecho todas las instituciones y entidades relacionadas a la electrificación poseen reglamentos o leyes que fomentan el crecimiento de la energía renovable. Cabe destacar que los Gobiernos recientes han hecho un gran esfuerzo para promover la inversión en este ámbito.
3. Guatemala no es un país que cuente con capacidad tecnológica para la implementación de centrales hidroeléctricas y/o geotérmicas, sin embargo, cuenta con la ayuda de otros países para su desarrollo, además es posible identificar que tanto el sector productivo, universidades y colegios de profesionales constantemente hacen un esfuerzo para preparar recurso humano útil para colaborar en este tipo de empresas.
4. Existen una gran cantidad de proyectos hidroeléctricos en operación, construcción y en trámites de aprobación; en conjunto son más que suficiente para darle un giro a la matriz energética actual al sustituir los

combustibles fósiles. En relación a la generación a través de energía geotérmica, no es posible decir lo mismo dado que los planes de explotación de este recurso no son claros, sin embargo, el potencial con el que cuenta Guatemala, también es suficiente para sustituir a los combustibles fósiles de la matriz energética.

5. Suponiendo que el aporte actual de los combustibles fósiles a la matriz energética se sustituyese con energía hidroeléctrica, se tendría un ahorro de 3 531 069,30 kg de CO₂. Al hacer el análisis con energía geotérmica se cuantificó que se ahorraría 3 295 259,82 kg de CO₂. Además al eliminar producción que es a base de petróleo se identificó que se ahorrarían 10 500 barriles de petróleo ya sea sustituyéndola con energía geotérmica o hidráulica puesto que dicha cantidad es lo que se utiliza diariamente para proporcionar electricidad al país.

RECOMENDACIONES

1. Actualizar la información de los antecedentes para años posteriores, puesto que la información recaudada comprende un período de tiempo que abarca desde el inicio de la electrificación en Guatemala hasta el 2013.
2. La legislación en Guatemala es muy volátil, se deben revisar de manera periódica los decretos, reglamentos y todo lo concerniente en materia de electrificación. Sin embargo, lo ideal es establecer leyes permanentes que beneficien todo lo relacionado a electrificación.
3. Evaluar la finalización de los proyectos que actualmente se encuentran en proceso de construcción y en trámites administrativos para su aprobación.
4. Promover la una educación en materia de electrificación previo a ingresar a la universidad para que las futuras generaciones tengan un criterio más amplio sobre energía geotérmica e hidráulica, esta sería una forma de crear conciencia sobre la población y evitar los conflictos de intereses que actualmente obstaculizan este tipo de proyectos.
5. El trabajo del sector público y privado en relación a la electrificación se maneja de manera independiente, por lo cual resultará de gran utilidad evaluar la interacción de estos en pro de los intereses del país para identificar si se ha cumplido con la política energética actual.

6. Identificar y promover más beneficios al ahorro de CO₂, barriles de petróleo y sumideros ya que será de gran ayuda para promover más proyectos de no solamente hidroeléctricos y geotérmicos, sino también de otras fuentes de energía renovable. Dichos beneficios pueden ser sociales, legales, ambientales, entre otros.

7. El impacto ambiental que tiene una central geotérmica e hidráulica difiere en gran medida por su funcionamiento y la infraestructura requerida, es por ello que las medidas de mitigación a tomar deben ser las idóneas, es decir la prevención de liberación de gases contaminantes en el caso de centrales geotérmicas y el cuidado de la flora y fauna para una instalación de una central hidroeléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

1. CAMPOS PAIZ, Julio César. *Sistema de bombeo de reinyección del agua de condensado del vapor de planta geotérmica calderas*. Trabajo de graduación de maestría en ingeniería de mantenimiento. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 46 p.
2. CARLESS, Jennifer. *Energía renovable, guía de alternativas ecológicas*. México: Edamex, 1995. 256 p.
3. CONSIDINE, Douglas. *Tecnología de las energías: solar, hidráulica, geotérmica y combustibles químicos*. México: McGraw-Hill, 1989. 465 p.
4. Guatemala. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Perspectiva de mediano plazo (2010 – 2015) para el suministro de electricidad del sistema eléctrico nacional*. Guatemala, CNEE, 2012. 45 p.
5. _____. Congreso de la República de Guatemala. *Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente*. Guatemala, 11986. 13 p.
6. _____. Congreso de la República de Guatemala. *Ley General de Electricidad*. Guatemala, 1996. 17 p.

7. _____. Consejo Nacional de Áreas Protegidas. *Manual de Buenas Prácticas para Proyectos Hidroeléctricos*. Guatemala, 2008. 58 p.
8. _____. Ministerio de Energía y Minas. *Ley de Incentivos de Energía Renovable*. Guatemala, 2003. 13 p.
9. _____. Ministerio de Energía y Minas. *Reglamento de la Ley General de Electricidad*. Guatemala, 1997. 40 p.
10. _____. Ministerio de Energía y Minas. *Estadísticas del Subsector Eléctrico 2001-2006*. Guatemala, 2006. 44 p.
11. JAIMOVICH. *Costos de la generación geotérmica*. Argentina, 2007. 8 p.
12. LLOPIS TRILLO, Guillermo. *Guía de la energía geotérmica e hidráulica*. España. 18 p.

APÉNDICES

FORMATO DE ENCUESTA PARA CONOCER LA PERCEPCIÓN PÚBLICA

ENCUESTA

Objetivo

Determinar la percepción de la sociedad Guatemalteca en relación a la energía geotérmica e hidráulica como fuente de generación de electricidad.

Introducción

A continuación se le presenta una serie de preguntas, conteste marcando con una "X" la casilla que corresponda acorde a sus conocimientos. Algunas preguntas requieren de más de una respuesta y una breve explicación.

1. ¿Sabe cómo se genera la energía eléctrica en Guatemala?

Si

No

2. ¿Considera que la energía hidráulica y/o geotérmica son fuentes de energía renovable?

Si

No

3. ¿Cómo cataloga el impacto ambiental de las centrales de generación de energía eléctrica que tiene como fuente la energía geotérmica e hidráulica?

Hidráulica

Alto	<input type="checkbox"/>
Medio	<input type="checkbox"/>
Bajo	<input type="checkbox"/>

Geotérmica

Alto	<input type="checkbox"/>
Medio	<input type="checkbox"/>
Bajo	<input type="checkbox"/>

4. Guatemala es un país con un gran potencial geotérmico e hidráulico, en consecuencia ¿Cree usted que el Gobierno ha tomado las medidas necesarias para explotarlos e incentivar la inversión en este tipo de proyectos?

Si

No

5. ¿Cree usted que es apropiado que se construyan más centrales hidroeléctricas?

Si

No

Explique su respuesta:

6. ¿Cree usted que es apropiado que se construyan más centrales geotérmicas?

Si

No

7. ¿A qué cree que se deben los diferentes conflictos que existen entre centrales hidroeléctricas y geotérmicas con las comunidades aledañas a su infraestructura?

- Intereses públicos y/o privados de diferentes sectores
- Falta de compromiso social por parte de las plantas de generación
- Falta de información por parte de las comunidades

8. A excepción de Internet, ¿Sabe en qué lugares puede encontrar información relacionada a energía geotérmica e hidráulica?

Si

No

Si su respuesta fue si, explique cuáles:

9. ¿Conoce algún proyecto que involucre una central geotérmica o hidroeléctrica?

	Hidroeléctrico		Geotérmico
Si	<input type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>

Si su respuesta fue si, indique cual:

10. ¿Conoce algún beneficio adicional a la generación de electricidad que pueda aprovecharse a partir de la energía geotérmica e hidráulica?

Si	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
----	--------------------------	----	--------------------------

Si su respuesta fue si, explique:

11. ¿Conoce de la existencia de algún curso sobre energía geotérmica?

Si	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>
----	--------------------------	----	--------------------------

Si su respuesta fue si, indique cual:

12. ¿Conoce algún curso sobre energía hidráulica?

Si

No

Si su respuesta fue si, indique cual:
