

**ESTUDIO SOBRE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA PARA SU
APROVECHAMIENTO EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN Y LAS
CIMENTACIONES**

**MIGUEL ÁNGEL ABRIL CASTIBLANCO
2126851**

**Tutor:
Lic. DIEGO HERNANDO RAMÍREZ M.
Físico y docente de ciencias básicas de la Universidad Santo Tomás.**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ
2017**

**ESTUDIO SOBRE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA PARA SU
APROVECHAMIENTO EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN Y LAS
CIMENTACIONES**

**MIGUEL ÁNGEL ABRIL CASTIBLANCO
2126851**

Monografía para optar al título de Ingeniero Civil

**Tutor:
Lic. DIEGO HERNANDO RAMÍREZ M.
Físico y docente de ciencias básicas de la Universidad Santo Tomás.**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ
2017**

CONTENIDO

	Pág.
CAPITULO I, DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. OBJETIVOS	14
3.1 OBJETIVO GENERAL	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4. METODOLOGÍA.....	15
5. CAPITULO II, ENERGÍA GEOTÉRMICA	17
5.1 BREVE RESEÑA HISTORICA DE LA GEOTERMIA	21
5.1.1 Actividades geotérmicas en la Edad Media y Moderna.	22
5.1.2 Actividades geotérmicas en la Edad Contemporánea.	23
5.2 FASES DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	26
5.2.1 Calor Interno de la Tierra.....	26
5.2.2 Propagación del calor.	28
5.3 Manifestaciones Geotérmicas.....	29
5.4 CLASIFICACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA	32
5.4.1 Evaluación de temperaturas y presiones de un yacimiento.	35
5.4.2 Modelos Gráficos de yacimientos geotérmicos.....	39
6. CAPÍTULO III, GENERACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL MUNDO 41	
6.1 GENERACIÓN DE ENERGIA GEOTÉRMICA EN EUROPA.....	43
6.2 GENERACIÓN DE ENERGIA GEOTÉRMICA EN AMÉRICA.....	46
6.3 GENERACION DE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN ASIA Y OCEANIA	49
6.4 GENERALIDADES.....	51
7. CAPÍTULO IV, POTENCIAL DE EXPLOTACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN COLOMBIA.....	53

7.1	ANTECEDENTES	54
7.2	DATOS DE REFERENCIA.....	55
7.2.1	Potencial de Energía Geotérmica.	55
7.3	PRINCIPALES VOLCANES DE COLOMBIA	59
7.3.1	Departamento de Nariño.....	60
7.3.2	Departamentos de Caldas y Tolima.....	61
7.3.3.	Departamentos de Huila y Cauca.	62
7.4	USOS ACTUALES DE LA GEOTERMIA	63
8.	CAPITULO V, APLICACIONES EN CONSTRUCCIONES Y CIMENTACIONES GEOTERMICAS.	67
8.1	DESCRIPCION TÉCNICA	67
8.1.1	Cimentación.....	67
8.1.2	Pilotes Geotérmicos.....	68
8.1.3	Propiedades térmicas en el terreno.	71
8.2	PROCEDIMIENTO EN LA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA EN UNA CONSTRUCCIÓN.....	73
8.2.1.	Diseño.....	73
8.2.2	Estimación térmica del terreno.....	74
8.2.3	Diseño del circuito cerrado.....	79
8.2.3	PUESTA EN OBRA	84
8.3	ANÁLISIS DE COSTOS.....	89
8.4	ANTECEDENTES	91
	BIBLIOGRAFÍA.....	103

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Duración y orden cronológico de las fases del proyecto.....	16
Ilustración 2. Flujograma del proyecto	17
Ilustración 3. Estructura Terrestre.....	18
Ilustración 4. Modelos de la Geosfera.....	18
Ilustración 5. Las Termas de Carcalla al Óleo	22
Ilustración 6.Mecanismos de transferencia de calor.	28
Ilustración 7 Estructura de un Géiser.....	31
Ilustración 8. Esquema tipo de pozos dobles.....	35
Ilustración 9. Principales usos de le energía geotérmica en función a su temperatura.	38
Ilustración 10. Esquema de sistema geotérmico de una cenca sedimentaria.....	39
Ilustración 11. Circulación de agua en un sistema controlado por una falla.	39
Ilustración 12. Capacidad geotérmica instalada (MW).....	52
Ilustración 13. Esquema de un pilote con sondas geotérmicas.	68
Ilustración 14. Esquema interno de una bomba de calor convencional.	69
Ilustración 15. Convector tipo aire forzado.....	70
Ilustración 16. Convector tipo radiador.	70
Ilustración 17. Convector Panel de superficie o suelo radiante.....	70
Ilustración 18. Estaciones climáticas vs variaciones de temperatura en el suelo. .	71
Ilustración 19. Transporte de energía por conducción. Ley de Fourier.	72
Ilustración 20. Fases relevantes a la hora de ejecutar un proyecto geotérmico de una construcción.....	73
Ilustración 21. Sonda Geotérmica.....	81
Ilustración 22 Diseños de instalación de sondas geotérmicas.	86
Ilustración 23 Sonda geotérmica, instalada en la armadura del pilote.	87
Ilustración 24. Circuito Cerrado.....	87
Ilustración 25. Centro Comercial Columbus.....	92

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Metodología estructurada del proyecto.	15
Tabla 2. Estructura dinámica de la tierra.	19
Tabla 3. Acontecimientos históricos en LAREDELLO ITALIA.....	24
Tabla 4 Acontecimientos Históricos en el Mundo.	25
Tabla 5. Discontinuidades y Temperaturas de la estructura terrestre.....	27
Tabla 6. Clasificación según temperatura de las aguas termales.	30
Tabla 7. Clasificación del fluido geotérmico según su temperatura.	33
Tabla 8. Utilización del recurso geotérmico de acuerdo con su entalpía.	33
Tabla 9. Tipos de yacimientos geotérmicos.	36
Tabla 10. Perfil de exploración geotérmica en función de la presión.	40
Tabla 11. Europa Capacidad instalada, producción eléctrica geotérmica 2010-2015 y pronóstico de esta energía al 2022.	46
Tabla 12. América. Capacidad instalada, producción eléctrica geotérmica 2010-2015 y pronóstico de esta energía al 2020.	48
Tabla 13. Capacidad instalada, producción eléctrica geotérmica 2010-2015 y pronóstico de esta energía al 2020.	50
Tabla 14. Principales países productores de electricidad geotermia en el mundo.	51
Tabla 15. Orden Cronológico de principales sucesos en el estudio de la Geotermia en Colombia.....	54
Tabla 16 Pasos para tener en cuenta a la hora de analizar la explotación geotérmica.	56
Tabla 17. Niveles de Actividad.....	59
Tabla 18. Volcanes de Nariño.....	60
Tabla 19. Volcanes de Caldas y Talima.....	61
Tabla 20. Volcanes de Huila y Cauca.	62
Tabla 21. Utilización directa de energía geotérmica a la fecha 31/12/14.....	64
Tabla 22. Proceso interno de una bomba de calor convencional.	69
Tabla 23. Caracterización de conductividad térmica según tipo de suelo.....	76
Tabla 24. Valores de Conductividad y Capacidad Térmica según tipos rocas.	77
Tabla 25. Capacidad térmica de la sonda según valores de extracción.	79
Tabla 26. Parámetros de sondas térmicas.	80
Tabla 27. Propiedades físicas de los fluidos conductores.	81
Tabla 28. Especificaciones a tener en cuenta a la hora de seleccionar la tubería.	83
Tabla 29. Perduración por Roto percusión.	85
Tabla 30 Pruebas del Intercambiador.	85
Tabla 31. Guía de instalación de la sonda en la armadura del pilote.....	86

LISTA DE MAPAS

	Pág.
Mapa 1. Primeras Áreas en el mundo con explotación industrial geotérmico.....	23
Mapa 2. Placas Tectónicas Mayores.	42
Mapa 3. Localización geográfica de Volcanes y Terremotos.	43
Mapa 4. Densidad del flujo de calor geotérmico en Europa.....	43
Mapa 5. Fenómenos de Subducción entre, Placa Euroasiática y Placa Africana. .	45
Mapa 6. Recursos Geotérmicos en EE. UU temperaturas a 6.5 km	47
Mapa 7. Placa Tectónica de Sudamérica	48
Mapa 8. Placas Tectónicas que limitan con países surasiáticos.....	50
Mapa 9. Distribución base de recursos geotérmicos (panel izquierdo) y recursos recuperables (panel derecho) en Colombia.....	58

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1.Príncipe G. Conti, junto a la primera instalación 1904 Lardarello	24
Fotografía 2.Primer planta geotérmica con capacidad de 250 kW en Lardarello.	24
Fotografía 3.Volcán Arenal, Costa Rica en Erupción en 2007	30
Fotografía 4.Termales de Santa Rosa de Cabal. Risaralda-Colombia.	30
Fotografía 5.Fumarolas. Vulcano, Islas Eólicas	31
Fotografía 6. Géiser Clepsydra en Yellowstone.....	32
Fotografía 7. Doble distribuidor, entrada y salida de las sondas geotérmicas.	88

INTRODUCCIÓN

Mediante esta monografía, se pretende indagar, ilustrar y comparar la explotación de energía geotérmica en el mundo, además de exponer desde el sector de la construcción, cimentaciones de una estructura como se puede aprovechar esta energía en determinado proyecto. Esto motivado, principalmente para atacar la desinformación que se tiene acerca las fuentes no convencionales y renovables, principalmente sobre la energía geotérmica. También se pretende la realización de este proyecto para que a futuro sirva de guía en la exploración e implementación de metodologías o procesos orientados en este campo en Colombia.

El agotamiento de las fuentes energéticas no renovables, los fenómenos económicos y el crecimiento de la demanda, han generado un déficit a corto, mediano y largo plazo en el suministro energético, vital para subsistencia de los diferentes procesos de la actividad humana. El panorama eléctrico existente principalmente en Colombia obliga cambiar el paradigma de generación, subsistencia y optimización de tan preciados recursos.

La dependencia de las fuentes energéticas convencionales, fisión y de combustión para la producción eléctrica, han generado impactos negativos, no solo en el ambiente, sino que también se ha creado una dependencia, explotación exclusiva a una fuente específica en la producción eléctrica, ya sea el caso concreto por: petróleo, gas, o fuentes hídricas. El conocimiento y la disponibilidad de fuentes eléctricas alternativas representan garantía, contingencia y accesibilidad generalizada del recurso. Por esta y otras razones, los países desarrollados están volcando su atención en el impulso y optimización de tecnologías, que varíen de manera eficaz la generación eléctrica mediante fuentes no convencionales y renovables. Específicamente en la generación eléctrica mediante la energía geotérmica. Energía alternativa con mayor auge y crecimiento mundial concretamente después de las crisis del petróleo en los años de 1973 y 1979.

Desde el sector propiamente de la construcción en Colombia, no existe un interés visible en abordar y proponer desde la ingeniería civil, soluciones, alternativas a problemáticas energéticas, se habla de construcciones verdes o amigables con el ambiente, pero no ha tenido la trascendencia o impacto deseado en los diferentes sectores, como el sector eléctrico del país.

CAPITULO I, DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Si bien es cierto, los fenómenos ambientales están ligados e impactan en el sector energético del país, un claro ejemplo de esto fue el resultado negativo del fenómeno del niño, y más si se tiene en cuenta que la generación de energía hidráulica predomina el sector eléctrico en Colombia. Durante éste fenómeno, el país experimentó periodos intensos de sequía, por lo tanto, los niveles de agua en las principales hidroeléctricas como la Central Hidroeléctrica de Caldas, por mencionar una de las más importantes, bajaron a tal punto que hubo una disminución considerable en la producción de electricidad en Colombia en la primera mitad del año 2016 y fue de manera tal, que inclusive se revivió la posibilidad de racionamientos eléctricos como los que experimentó la nación en los años de 1991-1992.

El estado implementó la promoción del uso eficiente de la energía para el desarrollo de fuentes no convencionales y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, mediante la Ley 697 de 2001 del Decreto 3683 de 2003, pero debido a los acontecimientos recientes y además conociendo el panorama eléctrico del país, se puede decir que ha tenido muy poco impacto. Según un informe de UPME del 2014 predomina la generación mediante energía Hidráulica (64,1%), combustible fósil (30,9%) y otros: centrales menores de generación de energía (<20 MW). A este panorama se le suma que la producción de energía a partir de centrales termoeléctricas supone un costo elevado debido a los combustibles necesarios para la generación de electricidad, además son sumamente contaminantes.

La exploración a gran escala de las fuentes alternativas de generación eléctrica es un desafío que por ahora se está abordando desde perspectivas y contextos de países desarrollados, pero en referencia a América Latina (excepto México) no existe una voluntad visible de los estados para la explotación eléctrica de dicha energía.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las aplicaciones prácticas y modos de explotación que se pueden implementar en el sector de la construcción en Colombia, en base a los avances, tecnologías y desarrollos en la generación de energía geotérmica?

2. JUSTIFICACIÓN

Es importante tener en cuenta, que la Ingeniería Civil juega un papel trascendental en el progreso del país, desde los proyectos multidisciplinarios, para el desarrollo conjunto de trabajos de gran magnitud, hasta los procesos netos del trabajo ingenieril en donde la huella ambiental, social, económica, son aspectos relevantes, por lo tanto, es obligación abordar desafíos en pro del avance de la propia ingeniería.

Que mejor que desde la Ingeniería Civil, se puedan aportar soluciones que brinden alternativas para el posible aprovechamiento futuro de energías alternas, como es el caso de la construcción de estructuras que se autoabastezcan y reduzcan costes energéticos para la climatización o iluminación en determinado proyecto; por lo tanto, hacer investigación y análisis, para llegar a un aporte tecnológico práctico para el aprovechamiento de energías renovables como la geotermia, es más que razonable.

Es necesario aportar soluciones que brinden alternativas, como en este caso puntual, investigación de la energía geotérmica, para que en primera medida se dé a conocer un tipo de energía convencional sin precedentes de explotación eléctrica en Colombia, además exponer de sus usos y modos de implementación para un posible aprovechamiento futuro en la construcción.

Es necesario la elaboración de estudios e investigaciones que permitan indagar, informar y disponer alternativas que a futuro puedan representar escenarios útiles y provechosos. Los usos de la energía geotérmica, que inician del aprovechamiento del recurso de muy baja temperatura a altas temperaturas; se implementan en infraestructuras, ya sean de vivienda, (sobre todo en climatización de edificios) en ocio o salud, (calefacción, balnearios, precalentamiento de agua-aire) la agricultura, (desarrollo de cultivos, secado de productos agrícolas) hasta necesidades industriales, (refrigeración, fabricación) hasta la producción masiva de electricidad.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una monografía que presente, un cruce de información de la experiencia global de la actividad geotérmica, en comparación a América Latina especialmente en Colombia, explotaciones y usos; enfocado en el sector de la construcción, su viabilidad según el análisis investigativo de posibles aplicaciones o implementaciones en estructuras, como pilotes geotérmicos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mediante un cruce de información, definir los posibles lugares para los yacimientos de esta energía geotérmica en Colombia y que sea base a futuras caracterizaciones de uso del subsuelo.
- Ilustrar sistemas de captación de energía geotérmica, que puedan ser aplicadas en el sector de la construcción
- Presentar las principales aplicaciones o usos en el aprovechamiento de la energía geotérmica.
- Exponer el desconocimiento de la energía geotérmica en Colombia

4. METODOLOGÍA

Al iniciar este proyecto se realizan dos cosas fundamentales: Dimensionar y Delimitar, de tal modo que se plantean estrategias y requerimientos para la estructuración idónea que permita llevar a la consecución del proyecto. En la tabla número 1, se describe de forma detallada la metodología estructurada por fases, y en las ilustraciones número 1 y 2 se visualizan el cronograma y flujograma de la metodología.

Tabla 1. Metodología estructurada del proyecto.

	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
FASE 1	Identificar los aspectos relevantes en la investigación según los objetivos del proyecto.	Se delimita y se estructura tema
FASE 2	Definición, Sondeo y Búsqueda. En esta fase se define de qué forma se va investigar, y se hacen los sondeos de búsqueda, según la estructura del proyecto	Se identifican bases de datos, revistas científicas, se recopilan artículos científicos, libros, y demás información relacionada con la temática del proyecto.
FASE 3	Teniendo en cuenta la identificación de los temas a desarrollar, se procede a estudiar la información recopilada.	Un correcto análisis de la información recolectada.
FASE 4	Se socializa, con los asesores del proyecto la información recopilada.	Clasificación del material, esto con el fin de una adecuada elaboración del documento.
FASE 5	Mediante el acompañamiento de los asesores se diseña el documento final.	Definición de los capítulos y bosquejo del documento final.
FASE 6	Realización del documento en base a normas de presentación, aportes y sugerencias de los asesores, además del seguimiento y control de la calidad del mismo	Puesta en marcha y elaboración del documento final, teniendo en cuenta las guías y decisiones de las fases anteriores además de las sugerencias de los asesores.
FASE 7	Preparación para la presentación y comunicación del proyecto, teniendo en cuenta las aprobaciones de los asesores y las fechas establecidas en la universidad.	Entrega de informes, y finalmente el documento Final

Metodología definida por fases, con su correspondiente descripción y resultados para una adecuada elaboración del proyecto.

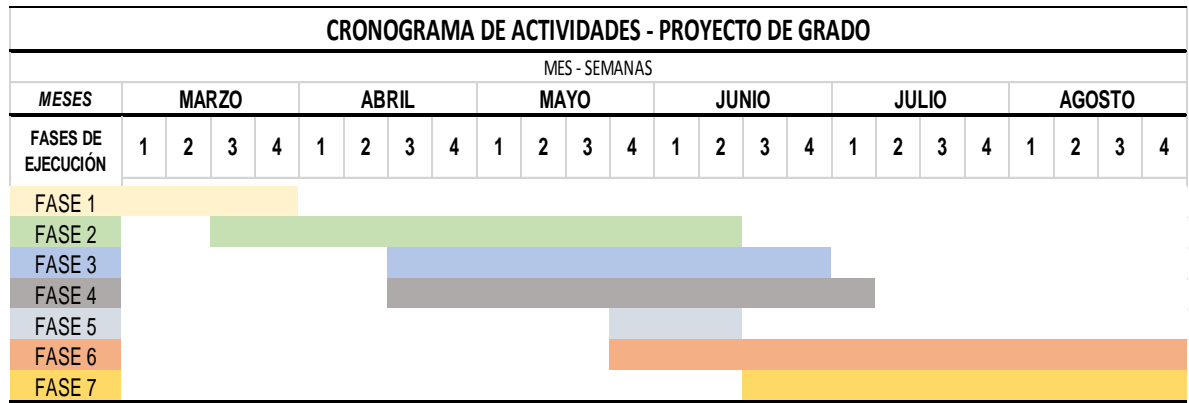


Ilustración 1. Duración y orden cronológico de las fases del proyecto.

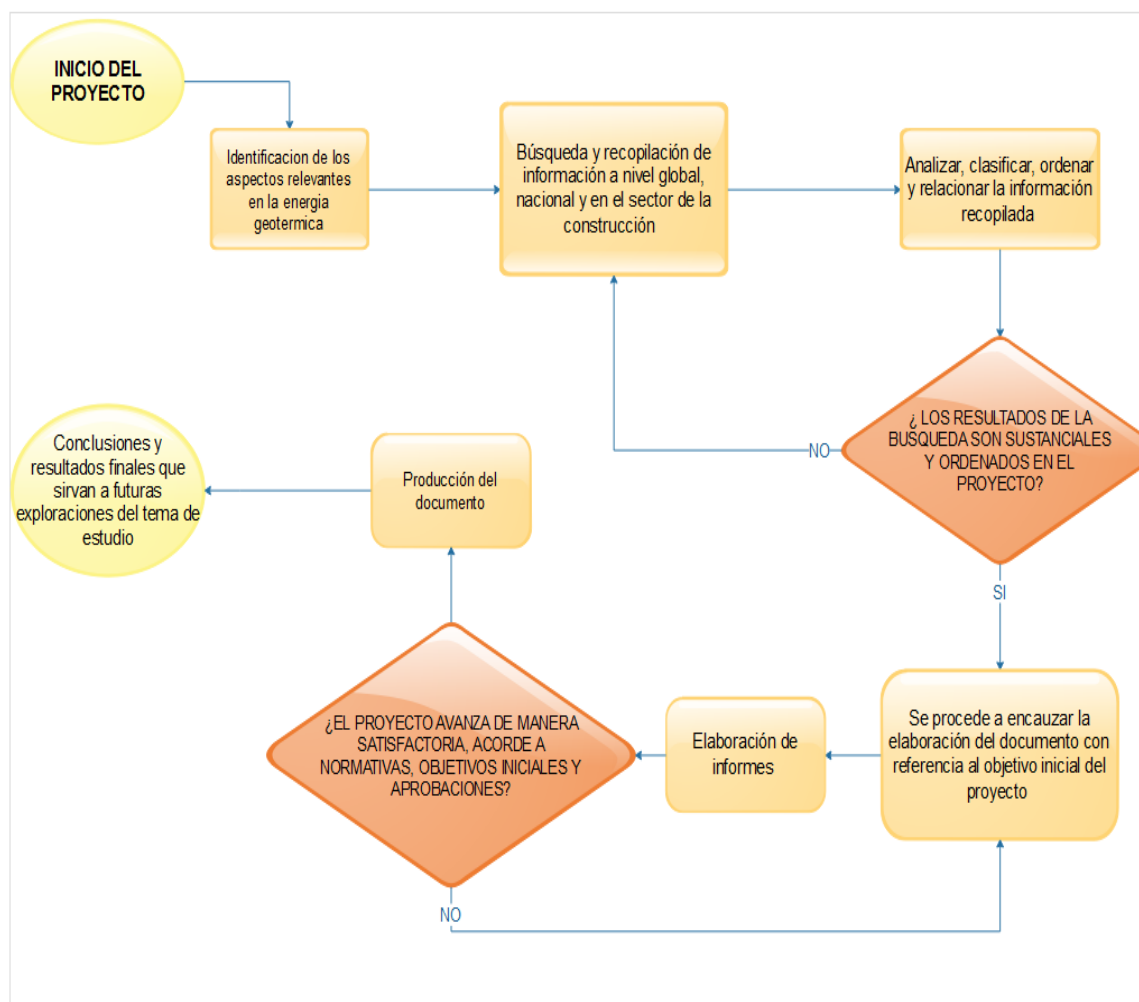


Ilustración 2. Flujograma del proyecto

5. CAPITULO II, ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica es la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la tierra. Esta definición es oficial y ha sido adoptada por el consejo europeo de energía geotérmica cuyas siglas en ingles son EGECE.

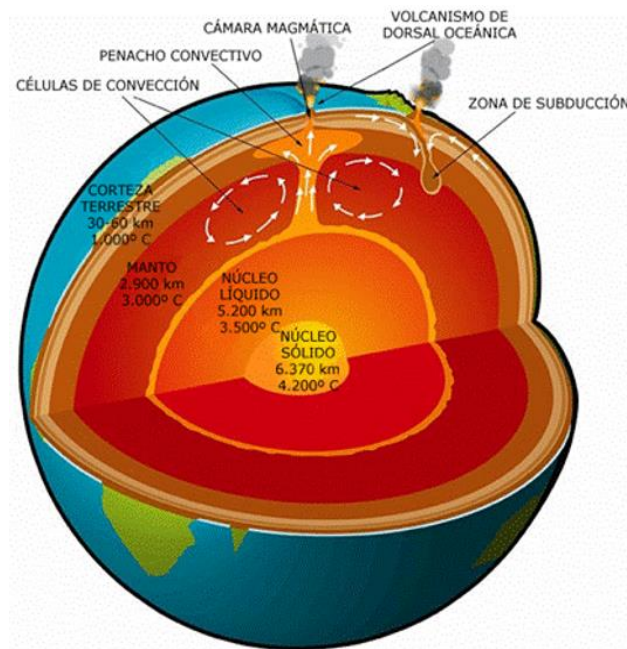
Es bien sabido que, la tierra mantiene procesos geodinámicos constantes que son forjados por la energía propia del planeta. Como afirman Llopis & Rodrigo¹, desde los procesos más superficiales, hasta las formaciones complejas como volcanes,

1 LLOPIS, G. y RODRIGO, V. Guía de la Energía Geotérmica. España.: FENERCOM, 2008. p .13

los terremotos y cordilleras, son controlados por el desplazamiento de capas y la transferencia de calor en el interior de la tierra. De la estructura de la tierra se identifican 3 capas:

Núcleo: Cuyo radio es aproximadamente de 3.500km. Compuesto principalmente de hierro y níquel, en estado líquido en la parte exterior, aproximadamente a una temperatura de 4.000-5.000°C, y en estado sólido en la parte interna con una temperatura cercana a la superficie del Sol, 5.000°C a 7.000°C, a pesar de esto, “el hierro no se funde ya que soporta la gran presión del planeta: de 330 a 360 GPa”²

Ilustración 3. Estructura Terrestre



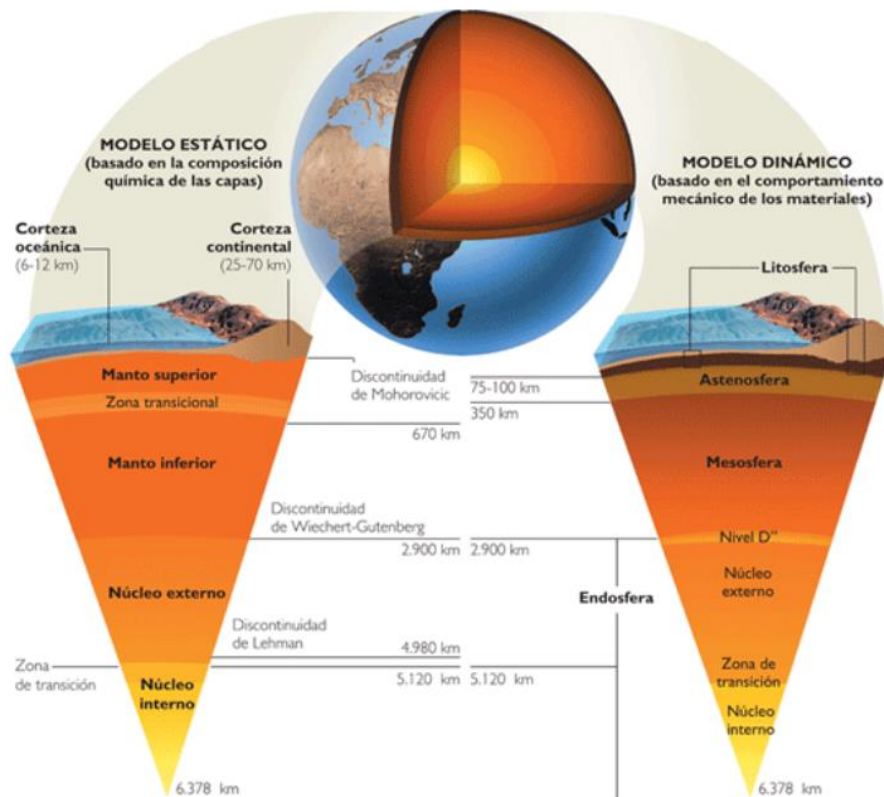
Manto: Capa que envuelve el núcleo, se extiende aproximadamente desde 33 km de profundidad hasta 2.900km. Compuesto principalmente de rocas silíceas, con temperaturas aproximadas a 3.000°C a 1.000°C.

Corteza: Espesor de 5 a 20 km en profundidades oceánicas, y 30 a 70 km bajo los continentes. Compuesto principalmente de minerales como pirógenos y feldespatos y elementos como silíceo, oxígeno, hierro, magnesio. Su temperatura varía desde 1000°C hasta los 15 a 20 °C en la superficie.

Fuente: Guía de la Energía Geotérmica. FENERCOM, 2008

Ilustración 4. Modelos de la Geosfera

2 GEO ENCIPLOPEDIA. Núcleo de la tierra. [en línea] < <http://www.geoenciclopedia.com/nucleo-de-la-tierra/> [citado el 5 de junio de 2017].



Fuente: D'HALMAR A. Física 2B.

De la estructura terrestre se identifican discontinuidades que más adelante se expondrán. La estructura basada en el modelo dinámico se puede describir:

Tabla 2. Estructura dinámica de la tierra.

CONCEPTO	
LITOSFERA	Franja formada por la corteza y la zona externa del manto superior; es una capa rígida, que sufre deformación frágil y elástica. La transferencia de calor que predomina en esta zona es mediante la conducción.
ASTENOSFERA	Franja interior del manto, se encuentra semi-fundida (esto según su proximidad al magma). La transferencia de calor en esta zona se da por corrientes de convección importantes. Sobre ella se desplazan las placas tectónicas.
MESOSFERA	Franja ubicada por debajo de la astenosfera, de comportamiento plástico debido a las altas presiones que allí se encuentran. La transferencia de calor es por convección.
ENDOSFERA	Franja caracterizada por elevadas temperaturas y densidades. Es la zona de transición entre el estado sólido y el estado líquido del núcleo. La transferencia de calor se da mediante convección y radiación.

Entorno a la geotermia se debe reconocer y clasificar nociones, por lo tanto, se recopila inicialmente las siguientes definiciones para una descripción que facilite la comprensión del tema. Un breve resumen que además sirve de introducción es que, la geotermia es la energía producida en el interior de la tierra, y que llega a la superficie, por transferencias de calor, las cuales conforman flujos de energía.

El gradiente geotérmico. Es la variación de temperatura en función de la profundidad, expresado comúnmente en $^{\circ}C/km$. “el gradiente geotérmico o aumento de la temperatura de la tierra con la profundidad es una variable indicativa del potencial geotérmico de un sitio. Un valor normal de gradiente térmico corresponde a un aumento de entre 25 y 30 $^{\circ}C/km$.”³ El valor medio de variación se cree que es de 3,3 $^{\circ}C$ cada 100 metros.

La conductividad térmica. Es una propiedad característica de cada material que indica su capacidad para conducir el calor. Se expresa en $W/m \cdot ^{\circ}C$

Permeabilidad: Capacidad de la roca para permitir flujos a través de espacios (poros), su unidad de medida es Darcy.

Flujo de energía o de calor. Es el producto del gradiente geotérmico y la conductividad térmica. Es calor, por unidad de superficie, por unidad de tiempo. W/m^2 ó $Cal/cm^2 \cdot seg$

Fuente de calor: Varían según las profundidades y zonas. Comúnmente existen en rocas calientes por contacto volcánico intrusivo, cámara magmática y gases calientes.

El calor que se produce en el interior de la tierra y es transferido a la superficie. En general los lugares más apropiados para el aprovechamiento de este calor están cerca de los volcanes, en cuyo interior se localizan rocas a altas temperaturas, que calientan el agua que se infiltra en el subsuelo. en la superficie la geotermia se manifiesta en los manantiales termales que descargan agua caliente y vapor entre otras manifestaciones de geotérmicas.⁴

³ Marzolf, N. (2014). Emprendimiento de la Energía Geotérmica en Colombia. [en línea]. BID/JC. [Bogotá, Colombia]: Inter-American Development Bank, [citado en 4 de junio] Disponible en: <<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6558/Energia%20Geotermica%20Colombia%207-1-14finalweb.pdf?sequence=1>> p.18

⁴ Ibid. p.7

Reservorio Geotérmico: Conocidos como yacimiento geotérmico, donde circula el fluido energético a profundidades económicamente explotables.

Un sencillo y como primer reconocimiento de la presencia de la geotermia y su potencial en una zona determinada, es la delimitación de las características topográficas, e identificación de estructuras geológicas como lo son volcanes, termales, fumarolas o aguas azufradas.

En algunas regiones, especialmente en aquellas donde se presentan volcanes, el gradiente geotérmico es superior al normal. comúnmente en estas zonas afloran manantiales de aguas termales que constituyen una evidencia de la presencia de rocas calientes, masas magmáticas o gases volcánicos en ascenso o cerca de la superficie y que provienen del calor del interior de la tierra. las regiones con estas características podrían ser promisorias para desarrollos geotérmicos y especialmente, para generación de energía eléctrica.⁵

Sistema geotérmico de suministro de agua: la define Marzolf⁶, Diaclasas en las rocas o fallas que permiten el contacto con el agua que se infiltra en el subsuelo con el reservorio geotérmico y generan la formación de manantiales termales.

5.1 BREVE RESEÑA HISTORICA DE LA GEOTERMIA

Para cualquier comunidad de personas en la actualidad, es evidente la importancia de las fuentes hídricas para el desarrollo y conservación de la misma. No obstante, las fuentes de calor, a lo largo de la historia, jugaron un papel de vital importancia sencillamente porque representaban, supervivencia.

La energía geotérmica inicialmente fue utilizada de forma primitiva como medio para calentarse y resguardarse de las heladas, cuyas temperaturas bajas prolongadas eran sinónimo de muerte, en los primeros años de la humanidad; también para cocer alimentos, e higiene. De igual forma se usó la geotermia de forma práctica para tallar objetos, la evidencia más antigua de este uso fue hallada en Japón. “Los restos arqueológicos más antiguos relacionados con la energía

⁵ MARZOLF, N. Emprendimiento de la Energía Geotérmica en Colombia [en línea]. BID/JC. [Bogotá, Colombia]: Inter American Development Bank, 2014 [citado en 4 de junio]. Disponible en: <<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6558/Energia%20Geotermica%20Colombia%207-1-14finalweb.pdf?sequence=1>> p.10

⁶ Ibid. p.11-12

geotérmica han sido encontrados en Niisato, Japón, son objetos tallados en piedra volcánica que datan de la tercera glaciación entre 15.000 y 20.000 años.”⁷

5.1.1 Actividades geotérmicas en la Edad Media y Es necesario recordar que, el periodo de la edad media va desde la caída del antiguo imperio romano en 476 d. C a 1492 con el descubrimiento de las Américas; posteriormente la edad moderna se extiende hasta 1789 con la Revolución Francesa. La presencia de la energía geotérmica se evidencio en estas épocas principalmente por los usos en los gloriosos gimnasios griegos, y con mayores aplicaciones extendidas por el antiguo imperio Romano, como actividades definidas principalmente en el aprovechamiento de vapores, y aguas térmicas, para el ocio y recreación, como lo son la práctica de baños termales, en la calefacción de zonas urbanas y la aparición de los famosos baños públicos romanos (*balneum therma*). También con fines medicinales debido a las propiedades curativas de las aguas térmicas y del aprovechamiento de sus minerales.

Ilustración 5. Las Termas de Carcalla al Óleo



Fuente: De Lawrence Alma-Tadema 1899.
– Origen Desconocido, Dominio público.

Las termas romanas fueron baños públicos, que brindaban espacios culturales además para el ocio y entretenimiento, debido a que contaban con salas de biblioteca, de oratoria, juego y áreas sociales. Eran comúnmente concurridas por plebeyos, aunque los emperadores otorgaban baños gratis a cualquier población.

Las termas de Caracalla, en Roma, tenían un aforo para 1600 personas (...), en 1330 ya existía una red de distribución de agua caliente en algunas casas en *Chaudes-Aigues*, Francia, Servían al mismo tiempo para lavar lana y pieles.

Por la misma época, en Italia, en la región de *Volterra*, Toscana, pequeñas lagunas con agua caliente salobre de las que se escapaba vapor a más de 100°C, eran explotadas para extraer ácido sulfúrico concentrado y alumbre.⁸

⁷ LLOPIS, G. y RODRIGO, V. Guía de la Energía Geotérmica. España.: FENERCOM, 2008. p .26

⁸ Ibid. p.27

5.1.2 Actividades geotérmicas en la Edad Contemporánea. El periodo de la edad contemporánea es marcado con el estallido de la revolución francesa en 1789, con un impacto profundo en la concepción y divisiones del poder en la historia. La revolución industrial dio paso a la transformación económica y tecnológica dando origen a la conformación del sector productivo iniciado en la segunda mitad del siglo XVIII.

Apareció a finales del XVIII, el primer uso industrial de la energía geotérmica, gracias a la idea de Francesco Giacomo Larderel, de usar vapor natural para alimentar calderas en la industria química. Comenzó en la Provincia de Pisa, en la región de *Volterra*, en Toscana, donde el vapor natural a 100°C, que emergían de las lagunas de aguas térmicas de la zona, el cual se usó para extraer principalmente ácido bórico, (compuesto químico muy común en jabones y productos cosméticos). Estos lagos se encontraban en la zona hoy conocida como los campos de *Larderello*, antiguamente denominado, el *Valle del Diávolo*.

Larderello es una *frazione* (termino de derecho administrativo a un tipo de subdivisión territorial de una comuna italiana) de *Comune di Pomarance*, una zona reconocida geológicamente por su riqueza geotérmica y porque fueron los precursores de esta energía, (en el presente documento se expondrá las razones geológicas por las que Italia posee yacimientos de esta energía) registrada como la primera región del mundo con uso industrial de la geotermia.

Mapa 1. Primeras Áreas en el mundo con explotación industrial geotérmica.



Fuente: CAPPETTI, 100 Años de Geotermia en Larderello 2016

Tabla 3. Acontecimientos históricos en LAREDELLO ITALIA

AÑO	ACONTECIMIENTO
1778	Se descubre la presencia de ácido bórico en las manifestaciones superficiales.
1812	Inicio de la industria química con producción de ácido bórico y sus derivados.
1904	Por dirección del Príncipe Ginori Conti se origina el primer experimento en el mundo de producción de energía eléctrica con vapor geotérmico
1913	Primera planta geotérmica con capacidad de 250 kW en operación
1944	Destrucción total de la planta durante la retirada de tropas Nazis en Italia.
1958	Hasta este año Italia fue el único país al mundo que había desarrollado la tecnología geotérmica, produciendo 2 billones kWh/año.
1977	Exploración profunda entre 2000-3000 m estimulación y reinyección de pozos.
2007	Alcanzan producción geotermoeléctrica aproximada a 5000 GWh solo en la Toscana Italiana.

Fuente: CAPPETTI, 100 Años de Geotermia en Larderello 2016

En esta zona se desarrolla los hechos en orden cronológico. La lista de sucesos se toma en base a un artículo de Guido Cappeti del 2016.

Fotografía 1. Príncipe G. Conti, junto a la primera instalación 1904 Lardarelo



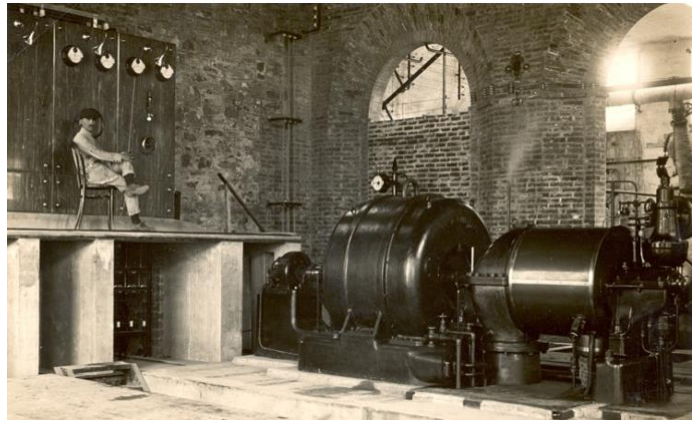
En 1904, el área cercana a Larderello fue utilizada para demostrar la primera conversión exitosa de energía de vapor utilizando cinco bombillas. Los depósitos geotérmicos pueden superar los 180° Celsius⁹

Fuente: Origen Desconocido, Dominio público.

Fotografía 2. Primera planta geotérmica con capacidad de 250 kW en Larderello

⁹ PORTLAND STATE UNIVERSITY. Larderello. [en línea]<
<https://www.pdx.edu/geography/sites/www.pdx.edu.geography/files/Larderello.pdf>> [citado en 4 de junio 2017]

“Se transformó por primera vez la energía termodinámica contenida en el vapor en energía eléctrica, empleando para ello una turbina conectada a un generador de tensión que rotaba al interior de un campo magnético. Desde entonces Larderello se convirtió en el primer productor mundial de energía geotérmica.”¹⁰



Fuente: CAPPETTI, 100 Años de Geotermia en Larderello 2016

La actividad geotérmica aparte en Italia se desarrolló principalmente en países como USA, Japón, México, Islandia; la siguiente tabla muestra de forma breve, los principales acontecimientos en torno a la Geotermia en el mundo.

Tabla 4 Acontecimientos Históricos en el Mundo.

AÑO	ACONTECIMIENTO
1892	Boise, Idaho, USA. red local geotérmica de calefacción urbana entro en funcionamiento
1919	Beppu, Japón se perforaron los primeros pozos exploración geotérmica.
1921	The Geysers, USA se perforan de pozos geotérmicos, e instalación de una pequeña máquina de vapor.
1930	Rikjavik, Islandia, instalación de red de calefacción geotérmica.
1945	Indianápolis, USA. primera instalación con bomba de calor geotérmica en una vivienda.
1948	En la Universidad de Ohio, USA se hace una instalación experimental geotérmica para la calefacción de las instalaciones.
1959	México y USA dan luz verde a la operación de la primera planta geotermoeléctricas.
1973	Crisis del petróleo, lo que genero avances e intereses en el mundo principalmente en os países desarrollados, por la generación de electricidad a partir de la geotermia.

¹⁰ BRUNI, S. La Energía Geotérmica [en línea]. *BID-Centro de Innovación Energética*. 3 ed. Inter American Development Bank, 2014 .[citado el 22 abril 2017]. Disponible: < <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6601/EI%20calor%20de%20la%20Tierra%3A%20fuente%20inagotable%20de%20energ%C3%ADa%20sostenible.pdf?sequence=4>>.

5.2 FASES DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

5.2.1 Calor Interno de la La explotación de energía geotérmica es el aprovechamiento del calor almacenado en la corteza terrestre, resulta de fácil comprensión indicar que la tierra está compuesta por una estructura dinámica manifestada entre otras cosas por el comportamiento térmico.

En el reconocimiento de los orígenes del calor interno de la tierra, es necesario identificar las principales causas. La energía atrapada en el interior de la tierra, (debido al calor inicial liberado durante la formación del planeta hace 4.500 millones de años), esto se conoce como calor remanente, de igual forma también se cree que en el Núcleo se dan reacciones nucleares de desintegración y descomposición de elementos radioactivos (como uranio 235, uranio 238, Th232, K40) que conforman estallidos caloríficos generando incrementos considerables de temperatura interna del planeta; a esto se le suma la inquebrantable geodinámica de la tierra, como es el caso de los movimientos diferenciales, en el que la energía liberada por el choque, la fricción de las capas terrestres producen presión, incrementos de temperaturas en últimas detonaciones de flujos caloríficos.

En síntesis, para dilucidar el calor generado en el interior del planeta y comprender a comparativo la energía presente en las capas es preciso citar que:

Las grandes diferencias de temperatura entre la superficie de la Tierra y las existentes en su interior originan un flujo continuo de calor hacia la superficie, estimándose que la energía que llega cada segundo a la superficie terrestre, en forma de calor, por conducción, convección y radiación es de $42 \cdot 10^{12} J$. De este total, $8 \cdot 10^{12} J$ provienen de la corteza, la cual representa solo el 2% del volumen total del planeta, $32,3 \cdot 10^{12} J$, provienen del manto, el cual representa el 82% del volumen total, y $1,7 \cdot 10^{12} J$, provienen del núcleo, que representa un 16% en volumen y no contiene isotipos radiactivos.¹¹

Se ha identificado a lo largo de la historia que las zonas fronterizas, donde las variaciones de: movimiento, composición, estados de materia, temperatura y presión, de la estructura de la tierra se llaman, discontinuidades. A continuación, en la Tabla 5. Discontinuidades y Temperaturas de la estructura terrestre.) se describe de manera organizada dichas zonas fronterizas.

¹¹ LLOPIS, G. y RODRIGO, V. Guía de la Energía Geotérmica. España.: FENERCOM, 2008. p .26

Tabla 5. Discontinuidades y Temperaturas de la estructura terrestre.

	DESCRIPCION DE DISCONTINUIDAD	PROF.
CORTEZA	TEMPERATURA APROX. 1000°C	
DISCONTINUIDAD DE MOHOROVIČIĆ.	Es la zona de transición, representa la separación de la corteza terrestre del manto. Cerca de corteza terrestre está constituida de silicatos de sodio (Na), potasio (K) y calcio (Ca) que son más ligeros. ¹² En contacto con el manto se encuentran en compuestos más densos constituídos por silicatos de hierro (Fe) y magnesio (Mg).	25-70km (Continental) 5-10km (Océanos)
MANTO	TEMPERATURA APROX. 3000°C	
DISCONTINUIDAD DE GUTENBERG	Cabe mencionar que en el manto existe una zona de transición llamada Discontinuidad de <i>Reppetti</i> que separa el manto superior del inferior, es decir en términos de transferencia de calor separa los flujos rápidos de convección de los ciclos más largos y lentos presentes en la zona interna del manto. D. <i>Gutenberg</i> Se encuentra entre el manto y núcleo. El manto terrestre está compuesto principalmente por rocas silíceas ricas en hierro (Fe) y magnesio (Mg). ¹³	2900km
NÚCLEO EXTERNO (ESTADO FUNDIDO)	TEMPERATURA APROX. 4.000-5.000°C	
DISCONTINUIDAD DE LEHMANN	Se encuentra entre el núcleo interno y el núcleo externo, está en estado líquido. La composición química del núcleo es principalmente de hierro (Fe) en un 80%, le sigue el níquel (Ni) y otros elementos, pero en menor porcentaje como el plomo (Pb) o el Uranio (U). ¹⁴	4980km 5120km
NÚCLEO	TEMPERATURA APROX. 5.000°C a 7.000°C	

¹² UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Geodinamica. [en línea] <<http://geodinamicainterna.wixsite.com/geodinamicainterna-1/discontinuidades-de-la-tierra>> [citado en 22 de junio 2017]

¹³ Ibid.

¹⁴ Ibid. Sección 3.

5.2.2 Propagación del calor. La estructura terrestre se compone de Corteza, Manto y Núcleo, tres capas contiguas de temperatura progresiva, es decir, en cuanto más profundo en la estructura terrestre se vaya, mayor será las temperaturas. Por lo tanto, la energía, el calor que se manifiesta en la superficie, es el resultado de procesos de transferencia de calor originado las capas internas del planeta. El calor de la tierra es transportado por medio de tres mecanismos; Por lo general la conducción y convección es el medio predominante y de transferencia de calor en la Corteza, mientras que la convección impera en el manto y radiación en el núcleo.

Conducción: Es la transferencia de calor de un cuerpo caliente, a uno frío con el que se encuentra en contacto. La Conductividad Térmica es la propiedad física, que permite evaluar la eficiencia de los materiales al transmitir calor. A mayor conductividad mayor será conducción de calor. Ejemplo, dos barras de diferente material, hierro y parafina, son expuestas en un extremo a calor, la barra de hierro, puede transportar más rápido el calor (se calienta a menor tiempo), que la barra con las mismas dimensiones, pero de parafina (se calienta a mayor tiempo) debido a que la conductividad del hierro es más elevada.

Convección: Es la transferencia de calor de los fluidos (líquidos o gaseosos), que, al ser expuestos al calor, se expanden, y se volverán menos densos en la parte más caliente, por lo cual se tenderá a hacer un movimiento del flujo repetitivo dando origen a las celdas de convección, en las cuales existen corrientes ascendentes y descendentes. Este mecanismo depende de la viscosidad y densidad del fluido. Ejemplo, un balde de agua, al calentarse en la superficie inferior, el agua en contacto con esta asciende, mientras que la que está en la superficie del balde tendera a descender haciendo este proceso repetitivo, transportando el calor por toda la superficie del balde.

Ilustración 6. Mecanismos de transferencia de calor.



Fuente: Universidad Popular Autónoma de Veracruz, 2017

Radiación: Es la emisión de energía en forma ondas electromagnéticas, la frecuencia de onda es una función de densidad de probabilidad que depende de la

condición térmico del emisor, es decir, mientras más elevada sea la temperatura de un cuerpo emitirá mayor radiación térmica. Cuando una radiación electromagnética choca con un material, sus moléculas se aceleran, lo cual genera un aumento generalizado de su temperatura.

5.3 Manifestaciones Geotérmicas.

Volcán: Una definición sencilla y ampliamente aceptada es, orificio, fisura o abertura de la corteza terrestre de forma generalmente cónica por la cual fluye lava (fluida o explosiva), roca fundida, gases de azufre, materiales piroclásticos y vapores ardientes a la superficie. La erupción de un volcán es el resultado de procesos geotérmicos, es por la acumulación excesiva de gases ejerciendo presión suficiente, los cuales se filtran por las fisuras de la corteza terrestre hasta llegar a la superficie producto de bordes, convergentes de placas de la litosfera, consumiéndose en el manto (subducción). O bordes divergentes por la cual el magma asciende.

Una breve descripción de la clasificación es, “los volcanes en escudo tienen perfiles bajos y redondeados y están compuestos principalmente por coladas básicas que se enfrían y forman basaltos. Los pequeños conos de escorias de lados empinados por donde surgen los materiales piroclastos. Los Volcanes compuestos están formados por coladas de lava y materiales piroclásticos.”¹⁵

¹⁵ MONROE J; POZO M; WICANER R. Geología: Dinámica y Evolución de la tierra. 4ed: Ediciones Paraninfo, S.A, 2008. p 145. ISBN-10: 8497324595

Fotografía 3. Volcán Arenal, Costa Rica en Erupción en 2007



Fuente: Foto tomada por Matthew G. Landry, 2006.

Aguas Termales: Aguas subterráneas que brotan a la superficie terrestre, cercanas a fallas geológicas o volcanes, sus orígenes geológicos pueden ser dos; Magmáticas, aguas subterráneas cercanas a volcanes que son calentadas principalmente por el contacto con el magma y rocas ardientes, por lo general son aguas con temperaturas mayores a 50°C, ricas en boro, bromo, cobre, fosforo. Telúricas, “se originan por fallas geológicas que penetran las aguas subterráneas

Fotografía 4. Termales de Santa Rosa de Cabal. Risaralda-Colombia.



que, al alcanzar mayor profundidad, se calientan y luego regresan a zonas superficiales ya más calientes o incluso a modo de vapor”¹⁶. su diferencia principal con las magmáticas es su composición mineralógica, pues estas son ricas en bicarbonatos, cloruros, sales de cal.

Se pueden clasificar según temperatura:

Tabla 6. Clasificación según temperatura de las aguas termales.

AGUAS TERMALES	TEMPERATURA
SUPER-TERMALES	>100°C
HIPER-TERMALES	45°C a 100°C
MESO-TERMALES	35°C a 45°C
HIPO-TERMALES	20°C a 35°C

¹⁶ PEREZ J; GARDEY A. Aguas Termales. [en línea] <<http://definicion.de/aguas-termales/>> [citado en 22 de junio 2017]

Fuente: Fotografía Anónima. Dominio Público

Fotografía 5. Fumarolas. Vulcano, Islas Eólicas

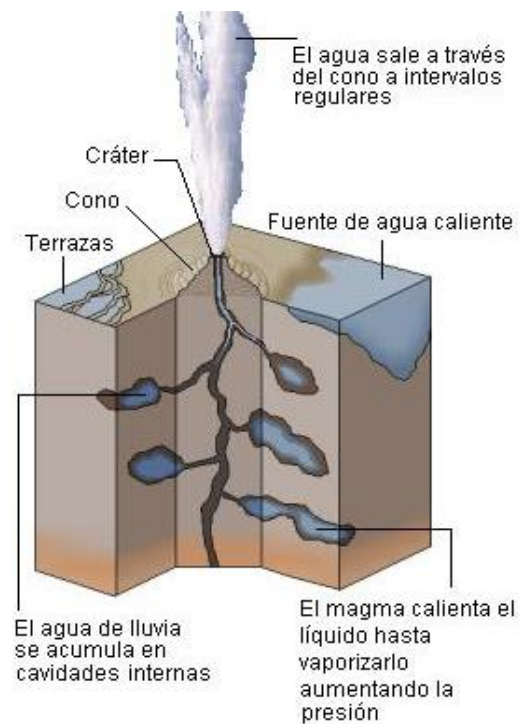
Fumarolas: Son conductos que expulsan gases no explosivos, "Las fumarolas emiten tanto gases magmáticos como vapor de agua generado por calentamiento de los acuíferos, por contacto de las rocas confinantes con la intrusión de magma"¹⁷ Están presentes en volcanes activos, aunque también en volcanes extintos donde están presente aun actividades como el enfriamiento del magma.



Fuente: Universidad de castilla, Términos Volcánicos

Géiser: Fuente termal, que expulsa de forma periódica agua hirviendo (entre 70°C y 100°C), muy relacionada a zonas volcánicas. La presencia de estas formaciones geotérmicas, son muy poco comunes en el planeta ya que en estas estructuras se han extinto debido a procesos como, la influencia e intervención de los seres humanos, efectos como terremotos, inundaciones y descomposición del magma; En la actualidad de grandes grupos de Geiser solo están presentes en: el Parque Natural *Yellowstone* en *Wyoming*, EE.UU. (parque famoso por sus fenómenos geotérmicos, además de guardar una historia de cataclismos volcánicos) en *Wairakei*, Nueva Zelanda. *Dolina Geiserov* (península de *Kamchatka*, Rusia). El Tatio, Chile, Nueva Zelanda, e Islandia.

Ilustración 7 Estructura de un Géiser



Fuente: (De Lmb CC BY-SA 3.0, 2017)

¹⁷ UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA. Términos Volcánicos. [en línea]. <<https://previa.uclm.es/profesorado/egcardenas/fuma.htm>> [citado en 4 junio 2017]

Fotografía 6. Géiser Clepsydra en Yellowstone.



Fuente: Foto tomada por Daniel Mayer y GNU FDL en 2006

5.4 CLASIFICACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

Como primera medida en la clasificación de la geotermia es necesario comprender que, la composición y características fisicoquímicas de las formaciones geológicas permiten en muchos casos una actividad termodinámica constante y muy variada, dando origen a los diferentes flujos de calor subterráneo, estos se diferencian según su contenido de calor.

Los sistemas geotérmicos tienen la capacidad de almacenar y/o transferir energía termodinámica en el ambiente, dicha capacidad se reconoce como Entalpía (H), comúnmente se expresa en la unidad de Joule (J) (medida de cálculo de energía, trabajo, calor). El cálculo de la entalpía se efectúa mediante la siguiente ecuación: $H = U + PV$, en donde la U es la energía interna del sistema, P es presión, V es volumen. A lo largo de la historia se catalogado dicha capacidad, la tabla 7. Muestra de manera organizada los valores de temperatura según conceptos reconocidos, cabe resaltar que es ampliamente aceptada y popular la categoría de Muffler & Cataldi y la de Benderlitter & Cormy.

Tabla 7. Clasificación del fluido geotérmico según su temperatura.

CLASE DE SISTEMA	MUFFLER & CATALDI (1978)	HOCHSTEIN (1990)	BENDERLTTE R & CORMY (1990)	HAENE. RYBACH & STEGENA (1998)
BAJA ENTALPÍA (AGUA TERMAL)	<90 °C	< 125 °C	< 100 °C	< 150 °C
MEDIA ENTALPÍA (VAPOR Y AGUA)	90 °C a 150 °C	125 a 225 °C	100 a 200 °C	NA
ALTA ENTALPÍA (DOMINADO POR VAPOR SECO)	>150 °C	> 225°C	> 200°C	>150 °C

Fuente: MARZOLF, N. *Emprendimiento de la Energía Geotérmica en Colombia. 2014*

También se puede clasificar los sistemas geotérmicos, según su entalpia, representada en la temperatura almacenada en un sistema, flujos geotérmicos y estados:

-Media Baja entalpía: El sistema geotérmico es dominado por líquido.

-Alta entalpía: El sistema geotérmico es dominado por vapor seco.

Teniendo en cuenta la clasificación de la entalpía en una zona de estudio, se empieza a diferenciar los tipos de aplicaciones apropiados, las cuales más adelante se expondrán en un capítulo de este documento, por ahora es necesario distinguir la utilización del recurso geotérmico de acuerdo con su entalpía:

Tabla 8. Utilización del recurso geotérmico de acuerdo con su entalpía.

CLASIFICACIÓN	UTILIZACIÓN
ALTA ENTALPÍA	Apropiado para generación de electricidad
MEDIA ENTALPÍA	Apropiado para usos directos
BAJA ENTALPÍA	Apropiado para usos directos

Fuente: UPME. Utilización de la energía geotérmica documento descriptivo.

En el reconocimiento del potencial geotérmico, se es necesario el uso de representaciones numéricas. “Con el fin de cuantificar estos recursos, es necesario determinar la cantidad de calor disponible en la roca (reservorio geotérmico) y las características del yacimiento con respecto a la extracción de ese calor. Existen numerosos métodos y modelos para la cuantificación de los recursos geotérmicos.”¹⁸

Ejemplo 1: El siguiente ejemplo de cuantificación fue tomado en base a una representación realizada por SCHELLSCHMIDT R; HURTER S para la elaboración de un Atlas de recurso geotérmico de Europa, se basa en un modelo volumétrico de contenido de calor para reservorios porosos asumiendo la explotación de la energía geotérmica para un pozo doble, pozo de producción y un pozo de inyección de fluido.

$$H = H_0 * R_0$$

H = Entalpía en J

H₀ = Representa la Entalpía en J contenida en un reservorio debajo un área

R₀ = Factor de extracción de energía que depende de la tecnología usada.

“Ho Comprende el calor almacenado en la matriz de roca (M) y (w) su porosidad”

$$H_0 = [(1 - P) * p_M * c_M + P * p_W * c_W] * [T_T - T_0] * A * \Delta_Z$$

P = Porosidad efectiva, Adimensional.

p_M = Densidad de la matriz de la roca.

p_w = Densidad del agua.

C_M = Capacidad Térmica específica de la matriz de la roca. J/kgK

C_w = Capacidad Térmica específica del agua. J/kgK

T_t = Temperatura en la parte superior del Acuífero. °C

T_o = Temperatura en la superficie. °C

¹⁸ SCHELLSCHMIDT R; HURTER S. Atlas of Geothermal Resources in Europe En : Geothermics [base de datos en línea]. Vol. 32, Issues 4-6 Enel Green Power, (Diciembre 2003); [citado en 8 de julio de 2017] Disponible en PANGEA STANFOR Research Database

$A = \text{Área de la superficie.}$
 $\Delta_z = \text{Espesor del acuífero neto}$

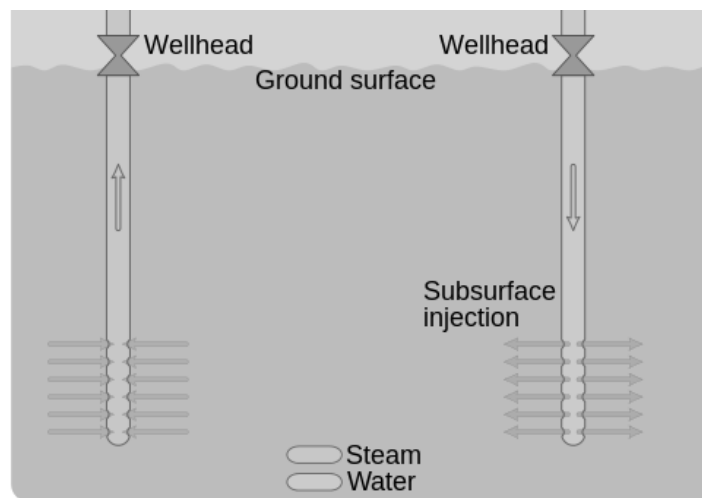
Para un sistema de dos pozos (i,e) Inyección y Explotación, con un coeficiente de 0,33 se puede demostrar el factor de extracción:

$$R_0 = 0,33 \frac{T_t - T_r}{T_t - T_0}$$

“Donde T_r es la temperatura de la reinyección. Un grupo de expertos de la comisión Europea geotérmica (CE) recomendó un valor de $T_r = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. La reinyección evita una disminución de la presión en el acuífero durante la explotación o evita la degradación ambiental del agua superficial y el suelo debido a la eliminación de agua geotérmica altamente salina”¹⁹

Teniendo las variables de la ecuación inicial se puede hacer la cuantificación de la de la energía total de [H] del sistema geotérmico en un área y a una profundidad determinada.

Ilustración 8. Esquema tipo de pozos dobles.



Fuente: Goran Tek-en 2014

5.4.1 Evaluación de temperaturas y presiones de un yacimiento.

¹⁹ SCHELLSCHMIDT R; HURTER S. Atlas of Geothermal Resources in Europe En : Geothermics [base de datos en línea]. Vol. 32, Issues 4-6 Enel Green Power, (Diciembre 2003); [citado en 8 de julio de 2017] Disponible en PANGEA STANFOR Research Database

A la hora de explorar un recurso geotérmico se debe tener en cuenta que, como primera medida fundamental a la hora de definir su utilidad, es definir su temperatura, para ello “antes de comenzar costosas operaciones de perforación, se busca una evidencia razonable de la existencia de alta temperatura en el yacimiento. En los casos en los que el fluido geotérmico sube y descarga en la superficie, la aplicación de ciertas herramientas denominadas geotermómetros químicos ha resultado de gran utilidad”²⁰ Se pueden distinguir Geotermómetros (IIE) de composición Catiónica. Hacer pruebas de presión permite desarrollar planes de contingencia, debido a que se reconocen las propiedades físicas del yacimiento “La inyección o extracción de fluido de los pozos activos (estimuladores del sistema) provoca la propagación de una variación de presión en el yacimiento. El desarrollo de dicha variación se registra en uno o varios pozos llamados de observación”²¹ estas observaciones son usadas para prevenir accidentes hidrológicos, pérdidas de presión.

Los sistemas geotérmicos se dividen en 4 clases de yacimientos, estos se clasifican principalmente según su temperatura, esto permite entre otras cosas, conocer el uso práctico en el aprovechamiento del sistema. Cada yacimiento geotérmico tiene condiciones particulares, que predisponen la comprensión de estos, condiciones tales como, características geológicas, niveles temperatura, escenarios y peculiaridades del entorno. En la tabla 9. Se ordena y se realiza una breve descripción de cada yacimiento

Tabla 9. Tipos de yacimientos geotérmicos.

TEMP.	CLASIFICACIÓN	BREVE DESCRIPCIÓN
<30 °C	Yacimiento de muy baja temperatura	Se puede afirmar que la corteza terrestre es una extensa zona donde se encuentra la geotermia de muy baja temperatura, incluso a pocos metros del subsuelo se puede encontrar energía que puede ser aprovechada para la climatización y calefacción de edificios, por medio de bombas de calor <i>Heat Pump</i> .

²⁰ UPME. Utilización de la energía geotérmica documento descriptivo. En: formulacion de un programa basico de normalización para aplicaciones de energias alternativas y difusión [en línea]. No. ANC-603-21 (2003) <http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/material_difusion/> [citado en 8 Julio de 2017]

²¹ Ibid. p. 11

30 A 90 °C	Yacimiento de baja temperatura	Estas temperaturas son características de cuencas sedimentarias, como por ejemplo la cuenca del Amazonas; Aunque no es necesario el cumplimiento de precisas condiciones geológicas para encontrar yacimientos de baja temperatura, si guardan condiciones como una profundidad entre 1.5 y 2.5 km y de macizos rocosos permeables para contener flujos de calor.
90 A 150°C	Yacimiento media temperatura	Este tipo de yacimientos permite la explotación eléctrica, es propicia la generación eléctrica, mediante pequeñas plantas. Se puede producir energía, utilizando un fluido de intercambio. Unas características que predomina en estos yacimientos, es que se encuentran aproximadamente a 2 y 4 km, en zonas con alta presencia de isotipos radioactivos.
>150 °C	Yacimiento de alta temperatura	Presente en zonas geográficas con gradientes térmicos elevados como 30°C cada 100m, con presencia de rocas ardientes y/o fluidos geotérmicos a más de 150°C. Zonas caracterizadas con fenómenos geológicos, como actividad sísmica frecuente, formación de cordilleras, regiones volcánicas. La explotación se hace con pozos de perforación similares a las de los pozos petroleros, es necesario la presencia de un acuífero o depósitos geológicos permeables, fracturas que permitan el transporte del fluido

Ilustración 9. Principales usos de la energía geotérmica en función a su temperatura.

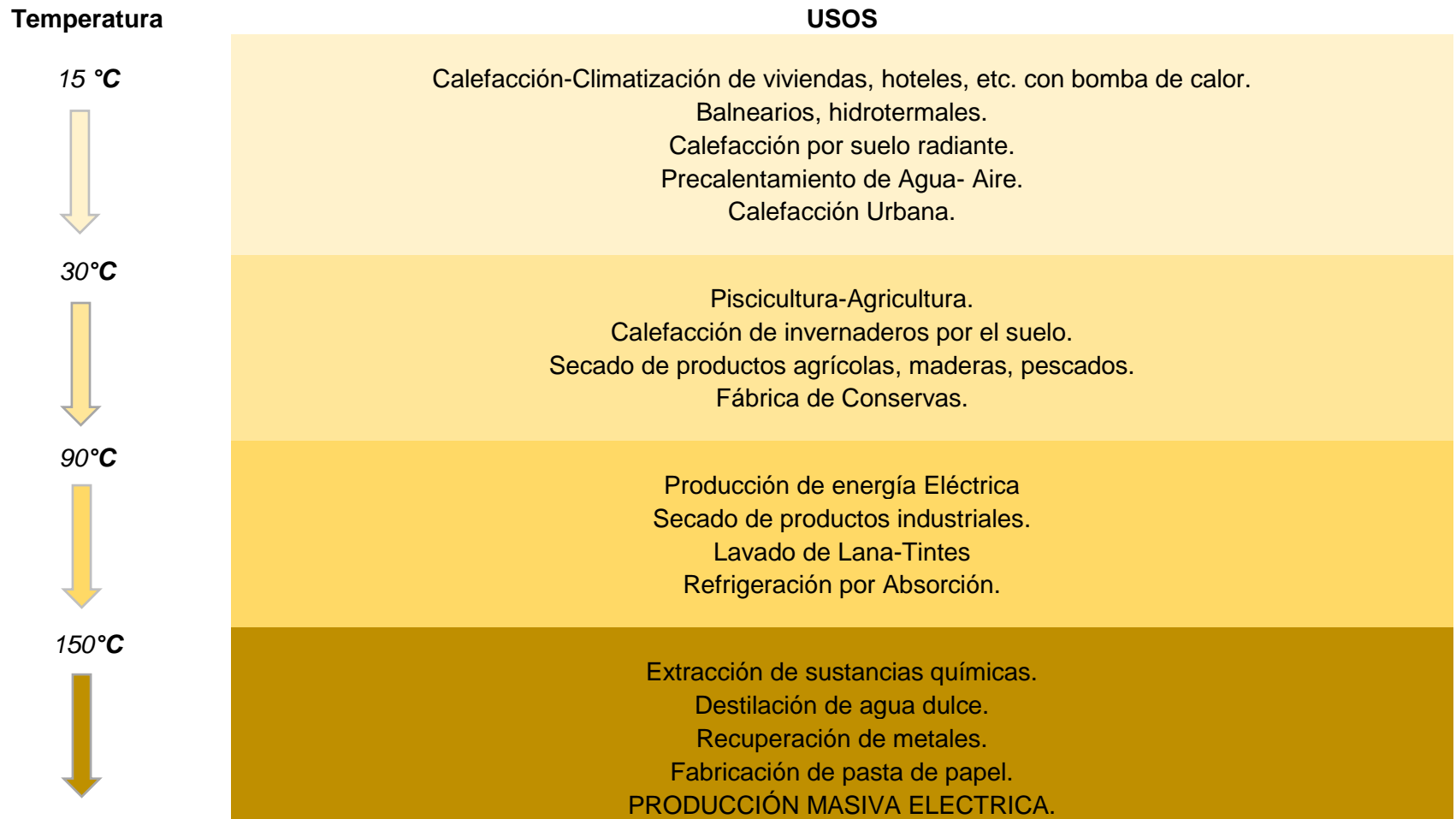
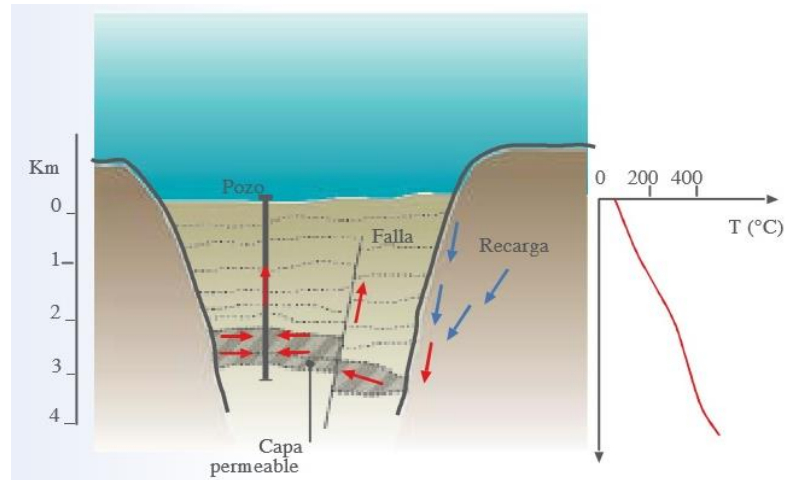


Ilustración realizada en base aplicaciones en Geothermie-Perspectives de L'ADEME et du BRGM.

5.4.2 Modelos Gráficos de yacimientos geotérmicos. De manera gráfica se puede representar el movimiento del flujo, la generación, el almacenamiento y transferencia de calor. Dichos movimientos dependen en medida de la estructura geológica, de la presencia y tipo manifestación geotérmica, existen esquemas de circulación de agua en sistema definido por una falla, esquemas de sistemas volcánicos e intrusión del magma:

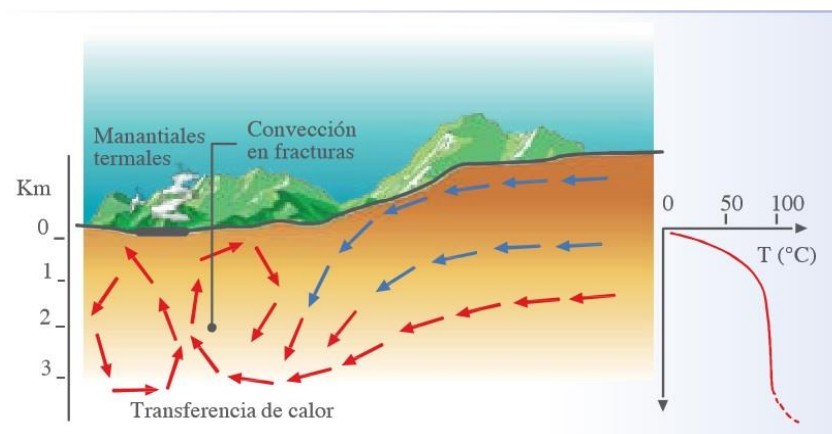
Ilustración 10. Esquema de sistema geotérmico de una cenca sedimentaria.



Fuente: MARZOLF, N. *Emprendimiento de la Energía Geotérmica en Colombia*. 2014

Un sistema temperatura de alta temperatura están cercanos a zonas volcánicas con gradientes térmicos elevados como 30°C cada 100m

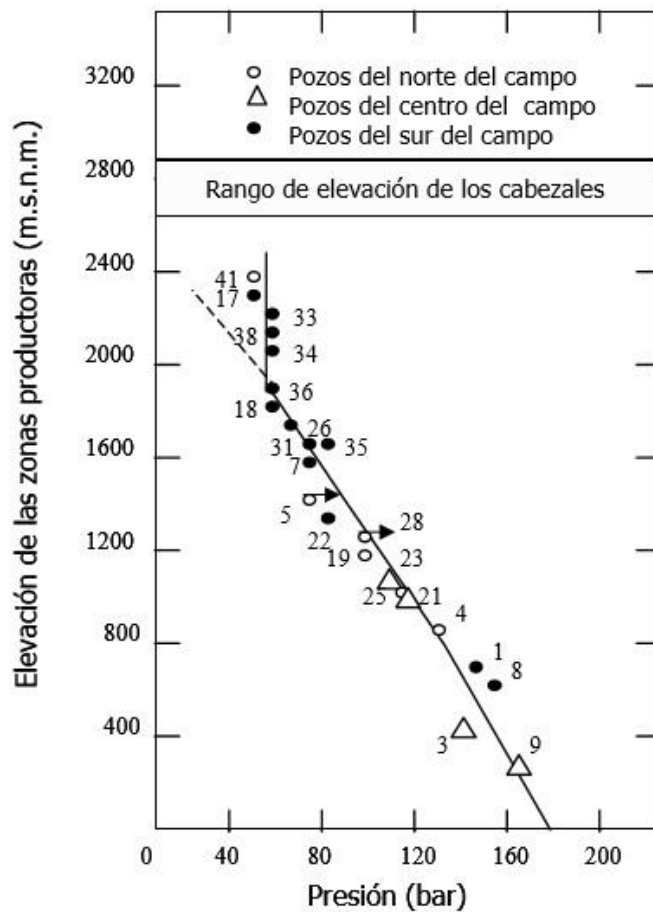
Ilustración 11. Circulación de agua en un sistema controlado por una falla.



Fuente: MARZOLF, N. *Emprendimiento de la Energía Geotérmica en Colombia*. 2014

Las construcciones de modelos según su entalpía, y presión son básicos a la hora de la exploración geotérmica, modelos como el que se muestra a continuación sirven para realizar comparaciones con estándares de seguridad para su correcta utilización según la presión y para conocer características propias del pozo. “Este modelo es particularmente importante, ya que representa la base sobre la cual se efectuará la evaluación de las reservas de calor y fluidos del yacimiento correspondiente. Los perfiles de presión y temperatura los cuales son una herramienta fundamental para desarrollar el modelo del yacimiento. Otro elemento importante para el modelo es el permeámetro.”²²

Tabla 10. Perfil de exploración geotérmica en función de la presión.



Fuente: UPME. Utilización de la energía geotérmica documento descriptivo 2003

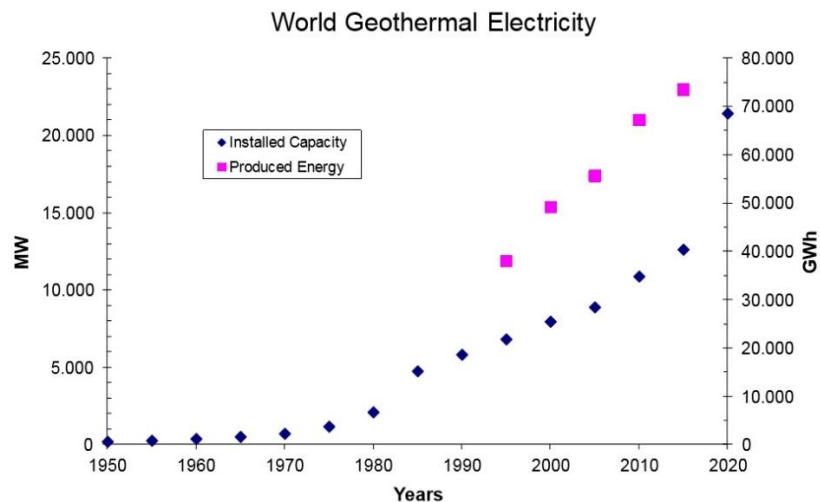
²² UPME. Utilización de la energía geotérmica documento descriptivo. En: formulacion de un programa basico de normalización para aplicaciones de energias alternativas y difusión [en línea]. No. ANC-603-21 (2003) < http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/material_difusion/ > [citado en 8 Julio de 2017]

6. CAPÍTULO III, GENERACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL MUNDO

Entre los años de 1973 y 1979, se vivieron las primeras crisis del petróleo, lo cual generó un choque entre la economía mundial y las fuentes de producción, principalmente en las industriales que dependían netamente del petróleo y sus derivados para sus procesos; las cifras de desempleo en los países desarrollados registraron niveles críticos. Debido a esto hubo un gran interés en la generación de electricidad a partir de fuentes no convencionales, la energía geotérmica fue de las que más rápido prosperó, la confiabilidad y la aceptación global fue en aumento. “El ahorro de energía se elevó a 352 millones de barriles (52,8 millones de toneladas) de petróleo anualmente, lo que evitó liberar a la atmósfera 46,1 millones de toneladas de carbono y 149,1 millones de toneladas de CO₂, lo que incluye ahorros significativos en el combustible para generar electricidad.”²³

Se fomentó la creación de organizaciones especiales para abordar y compartir conocimientos entorno a la geotermia, como por ejemplo: GEOLAC,(Geotermia para Latinoamérica y el caribe), IBID (Innovación Lab, banco interamericano de desarrollo) WGC,(Congreso mundial geotérmico), este último, es un referente en el tema debido a su constante actualización y seguimiento de la geotermia en el mundo.

Gráfica. 1 Evolución de la capacidad instalada y energía geotérmica producida en el mundo



Fuente: BERTANI R. *Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report*

Como

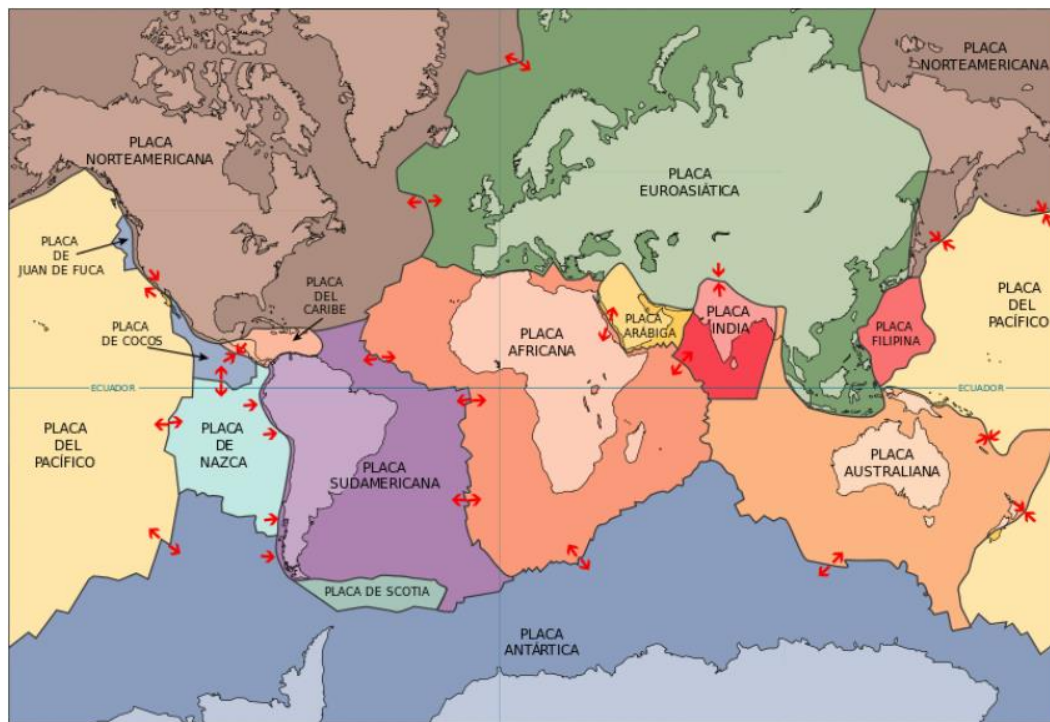
primera

²³ LUND W. John, BOYD Tonyal. Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review En: Geothermics [base de datos en línea]. Vol. 60 , 63-93. (Enero 2016); p. 65[citado en 20 de junio de 2016] Disponible en SCIENCE DIRECT Research Database.

medida y guía en la identificación del recurso geotérmico en determinada región, es el reconocimiento de fenómenos sísmicos, volcánicos y demás manifestaciones geotérmicas en la zona. Es necesario saber que estos procesos se manifiestan en la superficie entre otras cosas, a la dinámica (convergencia, divergencia, movimientos diferenciales) de las placas tectónicas.

Partiendo del hecho que la teoría geológica que define y explica que, la composición dinámica de la Litosfera (franja formada por la corteza y la zona externa del manto superior), está dividida por placas semirrígidas, con límites reconocibles es la famosa teoría Tectónica de Placas (Teoría de *Wegner*), ésta permite comprender que dichas placas semirrígidas se desplazan de manera unitaria y flotan sobre estratos de la Astenosfera (material rocoso fluido del manto). Dichas placas se reconocen como Tectónicas en las que se clasifican: 15 mayores y 42 secundarias.

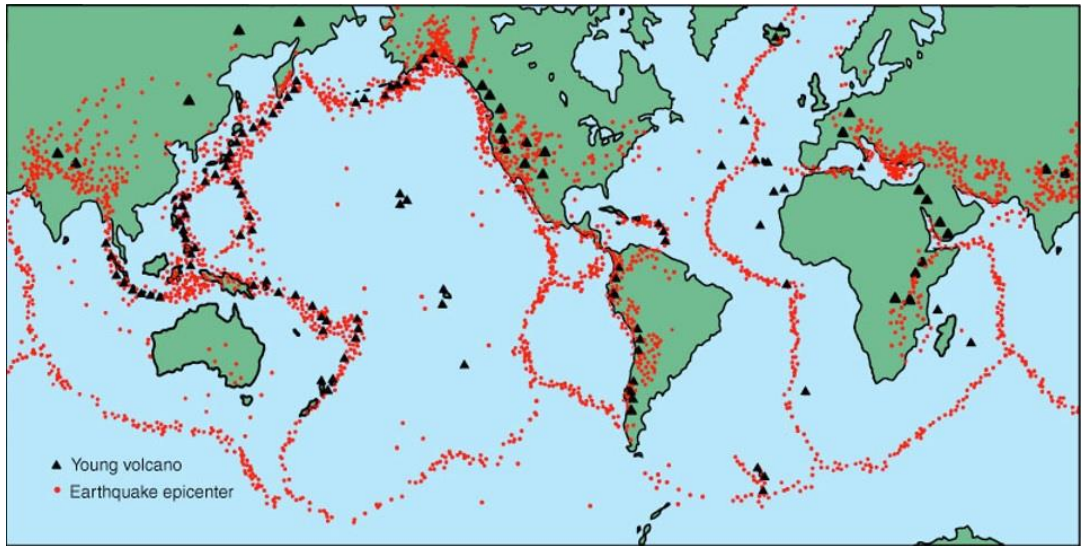
Mapa 2. Placas Tectónicas Mayores.



Fuente: USGS - Versión en español

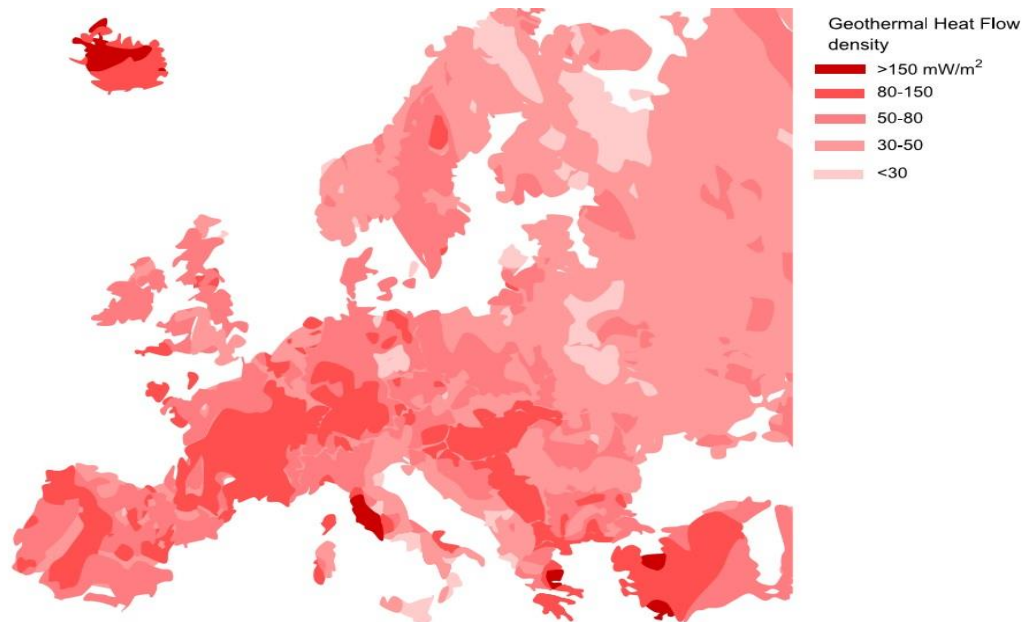
El vector de movimiento de estas placas se marca con las flechas rojas en el mapa, estos choques, fricciones, guardan estrecha relación con fenómenos dinámicos como movimientos telúricos, cambios topográficos, formación de fallas a escalas continentales, volcanes y demás procesos geológicos.

Mapa 3. Localización geográfica de Volcanes y Terremotos.



Fuente: the Environmental Data and Information Service of NOAA; earthquakes from U.S. Coast and Geodetic Survey

6.1 GENERACIÓN DE ENERGIA GEOTÉRMICA EN EUROPA



Mapa 4. Densidad del flujo de calor geotérmico en Europa.

Fuente: COLMENAR A; FOLCH M; ROSALES A; *The geothermal potential in Spain*.2015

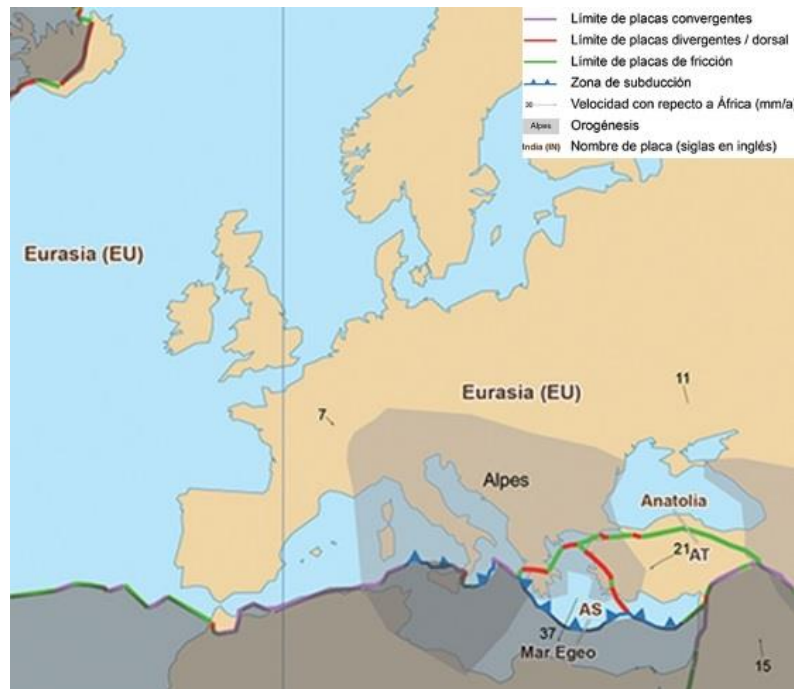
Como se puede apreciar, la mayor densidad de flujo ($>150\text{mW/m}^2$) se encuentra principalmente al sur de Europa; en algunas zonas de Italia, Grecia y Turquía. Para comprender este fenómeno, es necesario mencionar que a lo largo de la historia la Placa Africana ha convergido con la frontera sur de la Placa Euroasiática. *European Geosciences Union* (EGU) describió que, dicho procesos se ha detenido y ahora existe una joven zona de subducción a lo que calificaron como un evento científicamente fascinante, debajo del Mar Mediterráneo.

La lenta convergencia -unos pocos centímetros por año- fue obstruida parcialmente por una colisión de las dos placas en el Este, en Turquía, y luego por el hecho de la levedad del continente africano, evitó una subducción mayor. Como resultado, científicos de Utrecht, explican que pedazos de la placa africana que si entraron debajo de Europa se rompieron y están descendiendo. Para llenar este hueco, pedazos de la placa eurasiática han sido jalados hacia el sur por todo el Mediterráneo, como las Islas Baleares, Córcega y Cerdeña. Lo mismo está pasando con Creta.²⁴

Volcanes como el de Estrómboli, demuestran que hay fuerzas geológicas muy activas, y de gran potencia en el Mediterráneo, por ende, la actividad volcánica, en los países mencionados, se debe principalmente a la presencia cercana, poca distancia de estos fenómenos, ya que se encuentran al sur de la frontera entre la placa euroasiática y la placa africana,

²⁴ BLACK R. Europe "gets" under Africa. En: BBC. London. 11, Abril 2011. sec.2.p3

Mapa 5. Fenómenos de Subducción entre, Placa Euroasiática y Placa Africana.



Fuente: GABA E. Tectonic plates boundaries detailed-en.svg

Italia gracias a su posición geográfica, junto con Turquía y Grecia gozan de zonas privilegiadas para disponer del recurso geotérmico, a comparación del resto de Europa, Italia fue el pionero en el tema, se convirtió en el primer país en el mundo en utilizar fuentes geotérmicas con fines industriales, han decidido desde hace décadas invertir en investigación, desarrollo de tecnologías y adecuación de nuevas plantas para lograr superar sus niveles de producción eléctrica y hacer parte en la explotación geotérmica a niveles internacionales. Como lo menciona, Bertani²⁵ “Larderello-Travale (795MWe) y el Monte Amiata (121 MWe). La generación bruta de electricidad alcanzó los 5.700 GWh, el récord de electricidad producido a partir de recursos geotérmicos en Italia”. Mas adelante en presente documento se sustentará geológicamente porque esta zona es privilegiada.

En referencia a la Energía Geotérmica, la siguiente tabla muestra de manera organizada, la capacidad instalada, la electricidad producida en el 2015 y el pronóstico a 2020 en Europa.

²⁵ BERTANI R. Geothermal power generation in the World 2010-2014 Update Report En : Proceedings World Geothermal Congress 2015 [base de datos en línea]. Vol. 60, Enel Green Power, via Andrea Pisano, 120, 56122 Pisa (Abril 2015); p. 10 [citado en 20 de junio de 2017] Disponible en PANGEA STANFORD Research Database

Tabla 11. Europa Capacidad instalada, producción eléctrica geotérmica 2010-2015 y pronóstico de esta energía al 2022.

PAIS	CAPACIDAD INSTALADA 2015 [MWE]	ELECTRICIDAD GEOTÉRMICA [GWH/AÑO]	PRONÓSTICO AL 2020 [MWE]
AUSTRIA	1.2	2.2	6
ALEMANIA	27	35	60
FRANCIA	16	115	40
GRECIA			40
HUNGRÍA			35
ITALIA	916	5.600	1,000
PORTUGAL	29	196	60
RUSIA	82	441	190
TURQUÍA	397	3.127	600

Fuente: BERTANI R. *Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report*

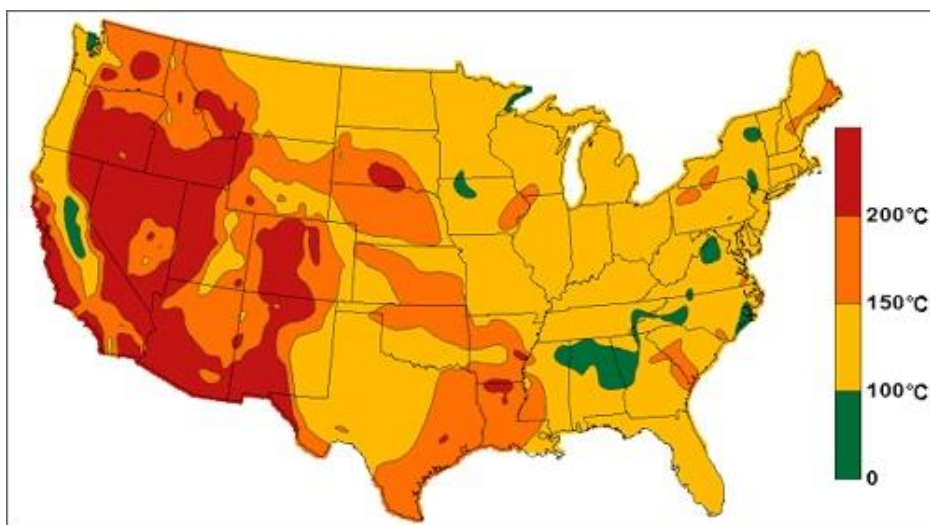
6.2 GENERACIÓN DE ENERGIA GEOTÉRMICA EN AMÉRICA

América está conformada por las placas tectónicas de Norteamérica, del Caribe y Sudamérica. La falla de San Andrés, recorre los estados de California, Baja California en México. Esta falla es el producto del deslizamiento entre esta placa del pacifico (en sentido noreste) y la placa norteamericana (en sentido sureste). Los principales reservorios geotérmicos de Norteamérica se encuentran rodeando esta falla, en los estados occidentales de E.U.

California genera la mayor cantidad de electricidad de la energía geotérmica. “En los Estado Unidos, el Pacífico Norte tiene el un potencial de generar electricidad a partir de la energía geotérmica (...) *The Northwest Power Planning Council* estima que existe un potencial de 2000mW anual, energía suficiente para servir a más de 13 millones de hogares.”²⁶ Estados Unidos es el país del continente que más produce electricidad geotérmica, con más de 9 plantas de geo-termoeléctricas.

²⁶ GEVORKIAN P. *Alternative Energy Systems in Building Desing*. Green Source,2010. 338p. ISBN 978-0-07-162147-2

Mapa 6. Recursos Geotérmicos en EE. UU temperaturas a 6.5 km



Fuente: U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy

Con respecto a Centroamérica y Suramérica, México es un referente histórico por ser el pionero en Latinoamérica en demostrar interés en las fuentes geotérmicas. La primera planta de explotación de esta energía entro en funcionamiento en 1973, Planta de Cerro Prieto, México. “La energía geotérmica en el país (México) se utiliza casi por completo para producir electricidad. Sus usos directos aún están en desarrollo y actualmente se restringen a balnearios y fines recreativos y algunos, con participación de inversionistas privados, y estatales.”²⁷

Como se puede apreciar existe gran actividad por parte de las placas de Nazca y la Sudamericana, esta última, en su frontera converge al oeste, generando dos notables fenómenos: la cordillera de los Andes y la fosa peruano-chilena; La Placa de Nazca es más densa y se está moviendo hacia el este por lo que se está subduciendo bajo el borde occidental de la placa sudamericana; estos fenómenos son los causantes de las apariciones de volcanes a lo largo de la zona, por ende, se presume un potencial geotérmico considerable a lo largo de la frontera occidental de la placa sudamericana.

²⁷ LUND W. Jonhn, BOYD Tonyal. Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review En: Geothermics [base de datos en línea]. Vol. 60 , 63-93. (Enero 2016); p. 65[citado en 20 de junio de 2016] Disponible en SCIENCE DIRECT Research Database.

Mapa 7. Placa Tectónica de Sudamérica



Fuente: GABA E. Tectonic plates boundaries detailed-en.svg

En referencia a la energía geotérmica, la siguiente tabla muestra de manera organizada, la capacidad instalada, la electricidad producida en el 2015 y el pronóstico al 2020 en América.

Tabla 12. América. Capacidad instalada, producción eléctrica geotérmica 2010-2015 y pronóstico de esta energía al 2020.

PAIS	CAPACIDAD INSTALADA 2015 [MWE]	ELECTRICIDAD GEOTÉRMICA [GWH/AÑO]	PRONOSTICO AL 2020 [MWE]
ARGENTINA			30
BOLIVIA			40
CHILE			150

COSTA RICA	207	1.511	260
ECUADOR			40
EL SALVADOR	204	1.422	300
GUATEMALA	52	237	140
HONDURAS			35
MÉXICO	1.017	6.071	1.400
NICARAGUA	159	492	200
PERÚ			40
USA	3.450	16.600	5.600

Fuente: BERTANI R. Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report

Como se puede apreciar en el informe de la WGC10-14 (*World Geothermal Congress*) en América Latina existen países que pronostican el uso de dicha energía, esto es producto de que, países como Chile, Argentina por mencionar algunos han invertido en investigación, sondeos, exploración, y estudios técnicos de factibilidad con miras en implementar usos de la geotermia a futuro, se puede decir que, aunque en América Latina no es aun popular y generalizado el concepto de la electricidad geotérmica, varios países, y entidades han invertido esfuerzos para que esta energía en “auge” tenga espacio, en la producción interna de electricidad.

Con respecto a Colombia en el informe WGC10-14 no presenta un pronóstico del uso de esta energía a 2020 no obstante se expondrá más adelante, en este documento un estudio detallado con referencia a Colombia y la energía geotérmica.

6.3 GENERACION DE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN ASIA Y OCEANIA

En el continente asiático, Filipinas, Indonesia, Tailandia y Japón, son los principales países referentes en la generación de electricidad geotérmica. El continente mencionado, ha apostado por la generación de electricidad a través de fuentes alternas, siendo esta energía una de las más populares. Debido entre otras cosas, principalmente a la actividad dinámica de su geología. Como se aprecia en el mapa Japón, Taiwán, Filipinas son países que delimitan la frontera suroriental de la placa euroasiática; en esta zona se presentan choques y

fricciones constantes con la placa filipina, dando origen algunas de las zonas de convección y subducción.

Cabe resaltar que hace parte del cinturón de fuego, y en especial en esta zona se concentra la mayor actividad sísmica y volcánica del mundo.

Mapa 8. Placas Tectónicas que limitan con países surasiáticos.



Fuente: GABA E. Tectonic plates boundaries detailed-en.svg

En referencia a la energía geotérmica, la siguiente tabla muestra de manera organizada, la capacidad instalada, la electricidad producida en el 2015 y el pronóstico al 2020 en Asia y Oceanía.

Tabla 13. Capacidad instalada, producción eléctrica geotérmica 2010-2015 y pronóstico de esta energía al 2020.

PAIS	CAPACIDAD INSTALADA 2015 [MWE]	ELECTRICIDAD GEOTERMICA [GWH/AÑO]	PRONOSTICO AL 2020 [MWE]
AUSTRALIA	1,1	0,5	20
CHINA	27	150	100
INDONESIA	1,340	9,600	3,500

JAPÓN	519	2,687	570
FILIPINAS	1,870	9,646	2,50
TAILANDIA	916	5.600	1,000

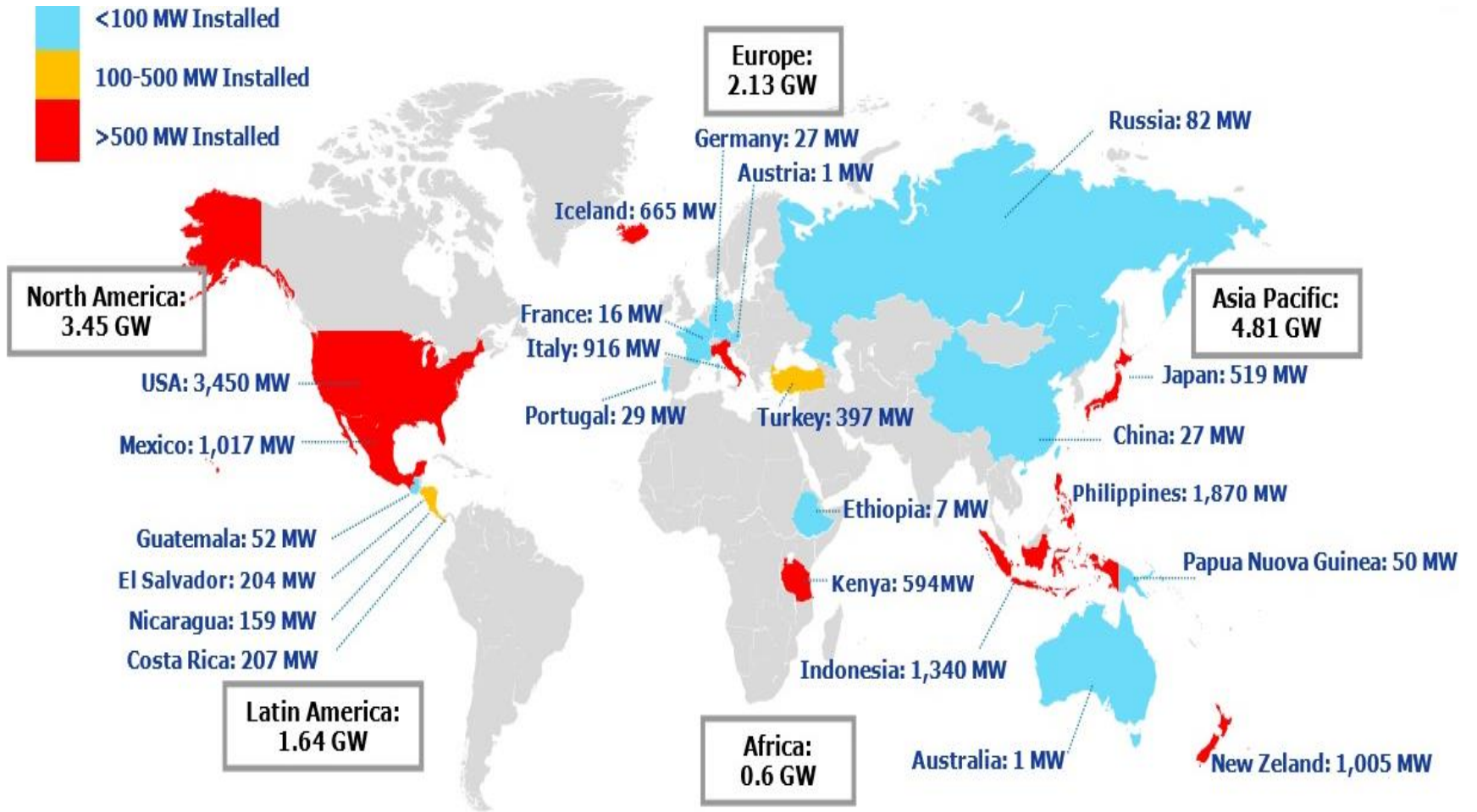
6.4 GENERALIDADES

De manera organizada en la Tabla 14. Principales países productores de electricidad geotérmica en el mundo. Se muestra la lista de los principales países en el mundo que han desarrollado la energía geotérmica a gran escala.

Tabla 14. Principales países productores de electricidad geotérmica en el mundo.

PAIS	CAPACIDAD INSTALADA 2015 [MWE]	ELECTRICIDAD GEOTERMICA [GWH/AÑO]
USA	3,450	16,600
FILIPINAS	1,870	9,646
INDONESIA	1,340	9,600
MEXICO	1,017	6,071
NUEVA ZELANDA	1,005	7,000

Ilustración 12. Capacidad geotérmica instalada (MW)



Fuente: BERTANI R. Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report

7. CAPÍTULO IV, POTENCIAL DE EXPLOTACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN COLOMBIA.

Colombia está ubicada en el extremo noroccidental de América del Sur. Una breve descripción geográfica, que es además pauta a la hora de analizar las posibles zonas geotérmicas, como se analizó en el capítulo anterior son las actividades o huellas de fenómenos geológicos específicos, por ejemplo: por el país pasa la Cordillera de los Andes (se cree que fue la cordillera que se levantó por la subducción de placas oceánicas por debajo de la placa sudamericana desde la era Cenozoica) la cual presenta en la actualidad una actividad volcánica considerable. Esta cordillera divide a su vez el territorio colombiano en, la Cordillera Occidental, Cordillera Central (donde se encuentran la mayoría de volcanes activos del país), Cordillera Oriental. Por las costas del pacifico el territorio nacional lo bordea el denominado, Cinturón de Fuego, donde las placas oceánicas están en permanente fricción, clasificadas como las más importantes en referencia de actividad sísmica y volcánica del mundo. Esto influye directamente en la región por el resultado de la subducción de la placa de Nazca y la placa de Cocos debajo de la placa Sudamericana

Con referencia al marco legal el estado colombiano ha desarrollado:

-La promoción del uso eficiente de la energía, el desarrollo de fuentes no convencionales de energía, la mitigación del cambio climático y la reducción de las emisiones de gases de efecto, mediante la Ley de Uso Racional de Energía (Ley 697 de 2001; el Decreto 3683 de 2003.)

-El Plan de Acción Indicativo 2010–2015 PROURE para desarrollar el Programa de uso racional y eficiente de energía y demás formas de energía no convencionales.

- El PEN 2010–2030 Plan Energético Nacional.

-Ley 1450 de 2011 (Plan de Desarrollo, artículo 105.)

A pesar del interés de ciertos sectores, se ha evidenciado la falta de voluntad del estado, para poner proyectos concretos en marcha para la explotación eléctrica de la energía geotérmica, por lo que aun en el país no hay ningún desarrollo de la geotermia, no obstante, desde finales de la de cada de los 60s se han venido desarrollando ciertos estudios en diferentes zonas de la nación con fines

exploratorios, para conocer el potencial geotérmico, y además la creación de políticas de estado para promover este tipo de energías alternativas.

7.1 ANTECEDENTES

Principalmente desde 1968-70 se realizaron los primeros estudios preliminares en Colombia con referencia a la exploración geotérmica, fue específicamente en la zona del Macizo Volcánico del Ruiz. La siguiente tabla muestra de manera organizada y en forma breve los acontecimientos importantes relacionados al estudio de la geotérmica.

Tabla 15. Orden Cronológico de principales sucesos en el estudio de la Geotermia en Colombia.

AÑOS	ACONTECIMIENTOS
1968	CHEC y ENEL. Realizo el primer estudio geotérmico en Colombia en el Macizo Volcánico del Ruiz. Se trato principalmente en el reconocimiento y determinación de condiciones ideales para la producción eléctrica, los resultados a pesar de ser positivos no fueron concluyentes debido a la alta incertidumbre sobre esta Zona
1979	Empiezan estudios de reconocimiento de campos geotérmicos entre Colombia y Ecuador. OLADE, AQUATER, BRGM Y GEOTERITALIANA
1980	CHEC. Adelanta etapa de prefactibilidad. “Los estudios geoquímicos, hidrológicos, hallaron fuentes de calor, pero con indecisión dado el desconocimiento de la permeabilidad de formaciones rocosas.” ²⁸
1997	CHEC. Perforación de un pozo con una profundidad de 1466m en el Pozo Nereidas I. Se rompieron las tuberías, por la presencia de rocas duras, pero lograron encontrar agua a 240° C. “se encontró permeabilidad primaria pero no permeabilidad secundaria lo cual genero incertidumbre sobre el reservorio” ²⁹
1998	Estudios de investigación de los sistemas geotermiales de las áreas de los Volcanes Azufral y Cumbal. INGEOMINAS 1998–1999, 2008–2009.
2000	En el lapso de estos años la Universidad Nacional, INGEOMINAS, y empresas privadas desarrollaron exploraciones en la mayor parte del territorio nacional.
2008	INGEOMINAS realiza el Mapa Geotérmico de Colombia.
2011-2013	Estudios de prefactibilidad sobre recursos geotérmicos en dos áreas seleccionadas ubicadas en el Macizo Volcánico del Ruiz (ISAGEN, BID/Fondo Japonés. Consorcio

²⁸ LEQUERICA R. Geotermia: Otra fuente de energía para Colombia. Bogotá, 2008. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

²⁹ Ibid p.36

	NIPPON KOEI – GEOTHERMAL E - INTEGRAL. 2011–2013.
2011-2014	Inversiones en metodologías de exploración. Complementación del modelo descripción del subsuelo, asesoría y acompañamiento para la etapa de perforación exploratoria. ³⁰

7.2 DATOS DE REFERENCIA

7.2.1 Potencial de Energía Geotérmica. Como se ha venido mencionando a lo largo del presente documento existen diferentes herramientas, cualitativas, y cuantitativas a la hora de identificar y medir el potencial geotérmico existen métodos como: registros de temperatura incremental (CVL), métodos geoquímicos. (GLC). Para ilustrar un método sencillo, a continuación, se presenta un procedimiento cualitativo para entender de forma lógica como se identifica el potencial en una determinada región:

Ejemplo: Un área de 50km^2 , a una profundidad de 2 km se encuentra un gradiente térmico a 240°C . A una profundidad se determina que la roca tiene de calor específico es $2.5 \frac{\text{J}}{\text{cm}^3}$, y en la superficie esta una temperatura promedio de a 15°C (temperatura promedio). La generación térmica se calcula de la siguiente manera.³¹

$$V = \text{Volumen de la fuente} = 50\text{km}^2 * 2\text{ km} = 100\text{km}^3$$

$$H = \text{Contenido de Calor} = V * \text{Calor Especifico} * (\text{Gradiente Termico} - T.\text{Superficie})$$

$$H = 100\text{km}^3 * \left(10^{15}\text{cm}^3 * 2.5 \frac{\text{J}}{\text{cm}^3 * ^\circ\text{C}} \right) * 225^\circ\text{C}$$

$$H = 5625 * 10^{19}\text{J}$$

Suponiendo que el 2% de la energía total de la fuente puede utilizarse. ¿Cuántos años tardaría la zona en producir: 1000 MW ?

R:/ Si solo se utiliza el 2%, se sabe que para generar $1000\text{MW}/\text{yr}$ se necesitaría que la fuente geotérmica tuviera la capacidad de generar $50.000\text{MW}/\text{yr}$. Teniendo en cuenta que:

$$1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1\text{ W}$$

³⁰ MARZOLF,N. Emprendimiento de la Energía Geotérmica en Colombia. [en línea]. BID/JC. 2014 [Bogotá, Colombia]: Inter-American Development Bank, [citado en 10 de julio]

³¹ GEVORKIAN P. Alternative Energy Systems in Building Desing. Green Source,2010. p. 334. ISBN 978-0-07-162147-2

Si conocemos la energía contenida en el sistema que es de $5625 * 10^{19}J$

$$1 \frac{J}{s} * 3169 * 10^6 \frac{s}{yr} = 3169 * 10^6 \frac{J}{yr}$$

$$\frac{50,000MW}{yr} = \left(\frac{50,000MW}{yr} * \frac{1,000,000W}{yr} \right) * 3169 * 10^6 \frac{J}{yr} = \frac{1,575 * 10^{18} J}{yr}$$

Por lo tanto, el tiempo estimado para producir $1000MW$ es de 35 años =

$$Años = 5625 * 10^{19}J \div \frac{1,575 * 10^{18} J}{yr} = 35$$

De forma breve teniendo en cuenta métodos de identificación de fuentes termales, es fundamental establecer una secuencia a la hora de analizar la exploración geotérmica.

Tabla 16 Pasos para tener en cuenta a la hora de analizar la explotación geotérmica.

OBJETIVOS	
1.	Identificar el fenómeno o manifestación geotermal.
2.	Estudiar si existe un campo geotérmico utilizable.
3.	Estimar el tamaño del recurso.
4.	Determinar la clasificación del recurso geotérmico.
5.	Localizar las zonas productivas.
6.	Determinar el contenido de calor de los fluidos que serán erogados por los pozos en el campo geotérmico.
7.	Compilar información a con los cuales puedan ser confrontados a futuro.
8.	Determinar parámetros ambientales sensibles previamente a la explotación.
9.	Toma conocimientos a las características que pueden ocasionar problemas durante el desarrollo del campo.

Fuente: LEQUERICA R. Geotermia: Otra fuente de energía para Colombia. Bogotá, 2008.

Saber que existen diversas metodologías para identificar fuentes o yacimientos del recurso geotérmico, es de vital importancia, de igual manera a la hora de caracterizarlos se deben analizar una gran variedad de aspectos, como, por ejemplo, en referencia a Colombia inicialmente se debe conocer que. “La

intensidad de los procesos tectónicos activos como subducción, formación de cadenas montañosas, cuencas y cadenas volcánicas; reactivación y neoformación de estructuras, las intensas producciones sísmicas se deben a la condición actual de la cinemática y convergencia geoméricamente heterogénea, especialmente entre la Nazca Y América del Sur, y su evolución a través del tiempo”³²

Un estudio realizado desde el este de Panamá y el noreste de Colombia (*Heat Flow from Eastern Panama and Northeastern Colombia*). sobre el flujo, la corriente de calor de la parte oriental de Panamá y el noreste de Colombia muestra que las fuentes de calor presentes en dicha zona no son tan prometedoras a comparación del territorio nacional (mirar el Mapa 9. Distribución base de recursos geotérmicos (panel izquierdo) y recursos recuperables (panel derecho) en Colombia.) son de baja entalpía. "En el noroeste de Colombia se pueden reflejar los transitorios flujos térmicos asociados con la subducción poco profunda. Evidentemente, la mayor parte de la región está subyacente por la corteza oceánica, por lo tanto, los componentes de los flujos caloríficos son muy pequeños”³³

El alto potencial geotérmico del territorio colombiano conocido por intuición desde la ubicación del país sobre un límite de placas tectónicas (anillo de fuego del Océano Pacífico) ha sido confirmado y verificado a través de los estudios de reconocimiento y prefactibilidad desde finales de los años 60 hasta la actualidad. Sin embargo y con muy pocas excepciones, el nivel de conocimiento de los sistemas geotérmicos se limita a la exploración superficial. Para afrontar el desafío de incorporar la fuente geotérmica como energía alternativa es necesario extender los estudios de prefactibilidad a etapas avanzadas que incluyen pozos exploratorios para validar los modelos conceptuales formulados, base para estimar el potencial energético.³⁴

Revisando la información existente, se encuentra un artículo detallado acerca de la descripción de forma gráfica de la entalpía estimada en la nación (datos adquiridos utilizando registros de temperatura incremental (CVL) para tres sitios³⁵ y el uso de métodos geoquímicos (GCL) para 35 sitios) en el artículo de *Advances in Assessment of Geothermal Resources of South América*, se identifican factores

³² MONTENEGRO F. La geotermia, fuente de Energía:Potencialidad, Usos y Beneficios. [en línea], 2015 .[citado el 10 Julio 2017].

<<https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=>

³³ SASS, J.H; MUNROE, R.J. and MOSES Jr. Heat Flow from Eastern Panama and Northeastern Colombia. Earth and Planetary Science Letters, En: Natural Resources [base de datos en línea]. [citado en 10 de julio de 2017] Disponible en SCIEDIRECT Research Database.

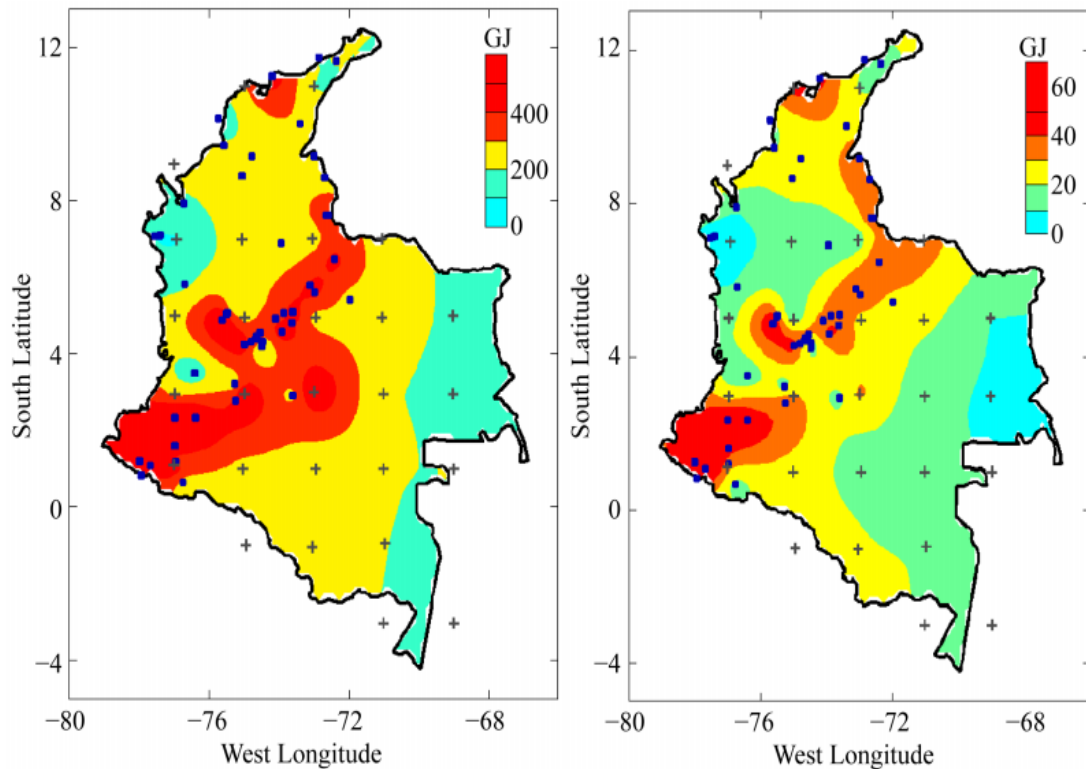
³⁴ ALFARO C. Improvement of perceptio of the geothermal energy as a potetial source of electrical energy in Colombia, Contry Update. Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.

³⁵ OB.CIT

tectónicos y además se establece que, “El valor medio de la base de recursos es de 315 GJ, mientras que la parte recuperable se estima en ser 31 GJ.”³⁶

Nota: Los mapas de fácil visualización de gradientes térmicos, zonas volcánicas y demás, se muestran en la parte de anexos.

Mapa 9. Distribución base de recursos geotérmicos (panel izquierdo) y recursos recuperables (panel derecho) en Colombia.



Fuente: PINTO, V; MANNATHAL H. *Advances in Assessment of Geothermal Resources of South América*

En síntesis, de estos acontecimientos es preciso citar que:

En Colombia se evidencia este potencial geotérmico en zonas adyacentes a los volcanes Chiles, Cerro Negro, Cumbal, Azufral, Galeras, Doña Juana, Sotará, Puracé, Nevado del Huila, Nevado del Ruiz y Nevado del Tolima. La historia eruptiva reciente y la presencia de fuentes de aguas termales, fumarolas y zonas de





36 PINTO,V; MANNATHAL H. *Advances in Assessment of Geothermal Resources of South América* En: *Natural Resources*. [base de datos en línea]. Enel Green Power, Rio de Janeiro (Octubre 2014);[citado en 10 de julio de 2017] Disponible en SCIENTIFIC Reseach Database

alteración hidrotermal superficial, podrían ser evidencia de la existencia de un recurso geotérmico con características adecuadas para su uso, con fines de generación de energía eléctrica.³⁷

7.3 PRINCIPALES VOLCANES DE COLOMBIA

La actividad volcánica del país se encuentra principalmente a lo largo de la Cordillera Central. Se muestra a continuación los volcanes por departamento con su respectiva descripción. Para su precisa clasificación, se toma como base la información de los observatorios vulcanológicos del Servicio Geológico Colombiano, en específico en base a La Tabla 17. Niveles de Actividad).

Tabla 17. Niveles de Actividad

NIVEL	NÚMERO	ESTADO DE ACTIVIDAD	ESCENARIO POSIBLE
	IV	Volcán activo y comportamiento estable.	El volcán puede estar en un estado base que caracteriza el periodo de reposo o quietud, o registrar actividad sísmica, fumarólica u otras manifestaciones de actividad en superficie que afectan fundamentalmente la zona más inmediata o próxima al centro de emisión, por lo que no representa riesgo para las poblaciones y actividades económicas de su zona de influencia.
	III	Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica.	Variaciones en los niveles de los parámetros derivados de la vigilancia que indican que el volcán está por encima del umbral base y que el proceso es inestable pudiendo evolucionar aumentando o disminuyendo esos niveles. Pueden registrarse fenómenos como enjambres de sismos, algunos de ellos sentidos; emisiones de ceniza; cambios morfológicos; ruidos; olores de gases volcánicos entre otros, que pueden alterar la calidad de vida de las poblaciones en la zona de influencia volcánica.
	II	Erupción probable en término de días o semanas.	Variaciones significativas en el desarrollo del proceso volcánico derivadas del análisis de los indicadores de los parámetros de vigilancia, las cuales pueden evolucionar en evento(s) eruptivo(s) de carácter explosivo o efusivo.
	I	Erupción inminente o en curso.	Proceso eruptivo en progreso cuyo clímax se puede alcanzar en horas o evento eruptivo en curso. La fase

³⁷ MONTENEGRO F. La geotermia, fuente de Energía:Potencialidad, Usos y Beneficios. [en línea], 2015 .[citado el 10 Julio 2017]. <<https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjH5oy3f7UAhVIOiYKHZhcC4oQFggIIMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.umariana.edu.co%2Ffojs-editorial%2Findex.php>>.

	eruptiva sea explosiva o efusiva puede estar compuesta de varios episodios. El tiempo de preparación y respuesta es muy corto
--	---





Fuente: SGC. Observatorio Vulcanológico 2017.

Estratovolcán. También son denominados volcanes compuestos “La mayoría de volcanes son Estratovolcanes, son altos con formas cónicas, conformados por capas sucesivas de lava, endurecida y ceniza. Tienen erupciones grandes y explosivas son de grandes dimensiones, caracterizados por erupciones de grandes proporciones y explosivas”³⁸

Los macizos volcánicos más estudiados hasta ahora son los nevados: del Ruiz - Tolima - Santa Isabel, en la cordillera central de los Andes. En 1985 el Volcán del Nevado del Ruiz hizo erupción, lo cual ocasionó la destrucción de la ciudad de Armero y causó cerca de 25.000 muertos. A causa de este desastre, el Gobierno Colombiano delegó la responsabilidad del seguimiento técnico de los volcanes al Servicio Geológico Colombiano.³⁹


7.3.1 Departamento de Nariño.

Tabla 18. Volcanes de Nariño.

VOLCÁN	NIVEL	DESCRIPCIÓN.
AZUFRAL.		Tipo: Estratovolcán. Manifestaciones Geotérmicas: Fumarolas y Solfateras. Región de influencia: Varios municipios entre los que se mencionan a Mallama, Sapuyes, Túquerres y Santa Cruz.
CERRO NEGRO. & CHILES.		Tipo: Estratovolcán. Manifestaciones Geotérmicas: Fuentes Termales, Aguas Hediondas (Ecuador) y Aguas Calientes (Colombia). Fumarolas. Ubicación: Frontera Colombia y Ecuador a 80 km al SW de la ciudad de Pasto y a 608 km al SW de Bogotá.
CUMBAL.		Tipo: Estratovolcán. Manifestaciones Geotérmicas: Fumarolas, Fuentes Térmicas, Actividad Sísmica. Ubicación: El complejo volcánico de Cumbal se encuentra localizado en el departamento de Nariño, al occidente de la población de Cumbal, 79 km al suroccidente de la ciudad de Pasto y 585 km al suroccidente de Bogotá.
DOÑA JUANA.		Tipo: Estratovolcán.







³⁸ KALMAN B. Los Volcanes de la Tierra. Crabtree Publishing Company. 2009. ISBN-10: 0778782611




³⁹ SGC. Servicio Geológico Colombiano, Historia. [en línea]< <http://www2.sgc.gov.co/Nosotros/Historia.aspx>> [citado 12 Julio de 2017]

GALERAS.		<p>Manifestaciones Geotérmicas: Aguas Termales las mesas. Ubicación: Municipios al Norte departamento de Nariño, Municipio El Tablón de Gómez.</p>
		<p>Tipo: Estratovolcán. (Hace parte de los de mayor actividad de Colombia). Manifestaciones Geotérmicas: Expulsión de Gases y cenizas, Actividad telúrica, Sismos Recientes. Ubicación: Aproximadamente a 9 km al occidente de la Ciudad de San Juan de Pasto, capital del departamento de Nariño.</p>

7.3.2 Departamentos de Caldas y Tolima




Tabla 19. Volcanes de Caldas y Tolima.

VOLCÁN	NIVEL	DESCRIPCIÓN.
CERRO MACHÍN.		<p>Tipo: Estratovolcán. Manifestaciones Geotérmicas: Fuentes Termales. Ubicación: corregimiento de Toche, municipio de Ibagué a 7 km de la cabecera municipal de Cajamarca.</p>
NEVADO DEL RUIZ.		<p>Tipo: Estratovolcán Ultrapromiente. Manifestaciones Geotérmicas: Fuentes Termáles (14), Fumarolas. Ubicación: Cordillera Central de los Andes. Entre los límites de Caldas y Tolima. Jurisdicción: Villamaría y Murillo.</p>
NEVADO SANTA ISABEL.		<p>Tipo: Estratovolcán. Manifestaciones Geotérmicas: Aguas Termales. Ubicación: Regiones limítrofes de los departamentos de Risaralda, Caldas y Tolima.</p>
NEVADO TOLIMA.		<p>Tipo: Estratovolcán. Manifestaciones Geotérmicas: Aguas Termales. (El Rancho) Ubicación: Entre corregimientos de Restrepo, Pastales y Juntas. Además, queda a 28 km al NW de Ibagué y a 43 km al sureste de Manizales.</p>
PARAMILLO DEL CISNE		<p>Tipo: Basáltica. Manifestaciones Geotérmicas: Expulsión de Gases y cenizas, Actividad telúrica, Sismos Recientes. Ubicación: En la Cordillera Central, en los Andes colombianos, dentro del Parque nacional natural Los Nevados.</p>
PARAMILLO DEL QUINDÍO		<p>Tipo: Estratovolcán. Manifestaciones Geotérmicas: Aguas Termales. Ubicación: Sobre el eje de la Cordillera Central en el límite de los departamentos del Tolima, Quindío y Risaralda.</p>

PARAMILLO DE SANTA ROSA		Tipo: Estratovolcán. Manifestaciones Geotérmicas: Aguas Termales. Ubicación: Santa Rosa de Cabal. 10 km hacia el occidente con respecto al eje de la Cordillera Volcánica Central,
ROMERAL		Tipo: Estratovolcán. Manifestaciones Geotérmicas: / Ubicación: Jurisdicciones de los municipios de Neira y Marulanda. Caldas- Caldas.
SAN DIEGO.		Tipo: Estratovolcán. Manifestaciones Geotérmicas: Aguas Termales. Ubicación: Samaná. Caldas.

7.3.3. Departamentos de Huila y Cauca.

Tabla 20. Volcanes de Huila y Cauca.

VOLCÁN	NIVEL	DESCRIPCIÓN.
NEVADO DEL HUILA		Tipo: Estratovolcán. Manifestaciones Geotérmicas: Ubicación: Está localizado entre los departamentos de Cauca, Huila y Tolima.
SOTARÁ.		Tipo: Estratovolcán. Manifestaciones Geotérmicas: actividad sísmica y la presencia de campos fumarólicos y fuentes termales. Ubicación: En la Cordillera Central de Colombia, en el límite entre los departamentos de Cauca y Huila.
PURACÉ.		Tipo: Estratovolcán. Manifestaciones Geotérmicas: Ubicación: En Departamento del Cauca, una distancia de 26 km. al SE de la ciudad de Popayán.

El potencial geotérmico, puede ser evidenciado en primera instancia mediante manifestaciones geotérmicas, en Colombia las zonas hidrotermales son una de las más comunes además son muy relacionadas a zonas volanticas.

Las principales áreas de ocurrencia de los sistemas hidrotérmicos (región andina), donde se espera el mayor gradiente geotérmico, no han sido documentadas por mediciones de temperatura directa, excepto Nereidas-1, el pozo geotérmico de exploración donde una temperatura de 200 ° C se

registró a 1.356 m de profundidad (Monsalve et al., 1998), equivalente a un gradiente geotérmico aparente de aproximadamente 136 ° C / km.⁴⁰

7.4 USOS ACTUALES DE LA GEOTERMIA

Los balnearios y las zonas turísticas son las únicas aplicaciones que Colombia hace de este recurso, en departamentos como Cundinamarca, Boyacá, Norte de Santander, Antioquia, Caldas, Risaralda, Tolima, Cauca, Nariño, Putumayo, Magdalena y Chocó. “La utilización de energía para este propósito se estima en 300 TJ / año y la capacidad a 18 MWt”⁴¹

⁴⁰ ALFARO C. Improvement of Perception of the Geothermal Energy as a Potential Source of Electrical Energy in Colombia, Country Update [base de datos en línea]. Proceedings World Geothermal Congress 2015 (Abril 2015) [citado en 13 de julio de 2017] Disponible en PANGAEA STANFORD

⁴¹ Ibid. p.6

Tabla 21. Utilización directa de energía geotérmica a la fecha 31/12/14

LOCALIDAD	TIPO	UTILIZACION MÁXIMA			CAPACIDAD (MWT)	UTILIZACION ANUAL		
		Caudal (kg/s)	Temperatura (°C)			Flujo Prom. (kg/s)	Energía. (TJ/yr)	Capacidad Factor.
			Entrada	Salida				
AGUA DE DIOS	B	0.48	36.2	31.6	0.01	0.24	0.15	0.50
AGUA DE DIOS	B	0.64	36.2	31.4	0.01	0.32	0.20	0.50
BOCHALEMA	B	1.60	45.0	28.6	0.11	0.80	1.73	0.50
BOCHALEMA	B	2.00	50.7	24.1	0.18	1.00	2.85	0.50
CHOACHÍ	B	0.20	35.0	23.9	0.01	0.10	0.15	0.50
CHOCONTÁ	B	2.60	53.7	21.5	0.35	1.30	5.52	0.50
CHOCONTÁ	B	0.20	53.2	21.6	0.03	0.10	0.42	0.50
CHOCONTÁ	B	0.20	58.3	21.5	0.03	0.10	0.49	0.50
CHOCONTÁ	B	5.80	46.7	20.8	0.63	2.90	9.91	0.50
CIÉNAGA	B	2.00	40.8	33.1	0.06	1.00	1.02	0.50
COLÓN	B	3.00	54.0	23.0	0.39	1.50	6.14	0.50
CUÍTIVA	B	2.00	34.9	21.0	0.12	1.00	1.83	0.50
CUMBAL	B	2.00	26.9	18.0	0.07	1.00	1.18	0.50
CUMBAL	B	2.00	36.0	22.3	0.11	1.00	1.81	0.50
GACHETÁ	B	0.20	66.9	24.0	0.04	0.10	0.57	0.50
GUASCA	B	0.20	35.4	20.0	0.01	0.10	0.20	0.50
GUICÁN	B	2.40	28.9	20.6	0.08	1.20	1.32	0.50
IBAGUÉ	B	0.50	82.0	22.0	0.13	0.25	1.98	0.50
IBAGUÉ	B	0.20	64.0	22.0	0.04	0.10	0.55	0.50
IBAGUÉ	B	0.60	29.0	21.5	0.02	0.30	0.30	0.50
IZA	B	2.00	49.5	20.2	0.25	1.00	3.86	0.50
LA CALERA	B	0.20	27.1	19.8	0.01	0.10	0.10	0.50
LA CALERA	B	3.00	33.0	19.9	0.16	1.50	2.59	0.50
LA CRUZ	B	10.00	42.0	21.5	0.86	5.00	13.55	0.50
MANTA	B	0.20	32.9	25.0	0.01	0.10	0.10	0.50

MONQUIRÁ	B	1.00	28.6	24.8	0.02	0.50	0.25	0.50
MURILLO	B	0.40	29.5	21.5	0.01	0.20	0.21	0.50
MURILLO	B	1.50	41.0	20.9	0.13	0.75	1.99	0.50
NARIÑO	B	0.50	43.5	29.4	0.03	0.25	0.47	0.50
NEMOCÓN	B	0.40	33.7	20.1	0.02	0.20	0.36	0.50
PAÉZ	B	2.00	32.4	23.6	0.07	1.00	1.16	0.50
PAIPA	B	12.00	51.8	21.1	1.54	6.00	24.26	0.50
PAIPA	B	1.00	49.5	21.1	0.12	0.50	1.87	0.50
PAIPA	B	12.00	24.3	20.6	0.19	6.00	2.93	0.50
PACHAVITA	B	6.00	37.3	24.6	0.31	3.00	5.02	0.50
PARATEBUENO	B	8.00	73.7	31.6	1.41	4.00	22.22	0.50
PASTO	B	4.00	35.9	21.4	0.24	2.00	3.83	0.50
PURACÉ - COCONUCO	B	0.20	67.5	19.4	0.04	0.10	0.63	0.50
PURACÉ- COCONUCOS	B	5.20	54.0	19.5	0.75	2.60	11.85	0.50
RIVERA	B	0.20	46.5	29.1	0.01	0.10	0.23	0.50
RIVERA	B	10.90	48.8	29.1	0.90	5.45	14.20	0.50
RIVERA	B	0.20	34.5	28.5	0.01	0.10	0.08	0.50
RIVERA	B	0.20	50.5	28.8	0.02	0.10	0.29	0.50
SALADOBLANCO	B	0.13	35.4	24.2	0.01	0.06	0.09	0.50
SAMANÁ	B	1.00	33.0	28.9	0.02	0.50	0.27	0.50
SAN MATEO	B	0.80	44.3	26.5	0.06	0.40	0.94	0.50
STA. ROSA DE CABAL	B	3.00	76.0	21.4	0.69	1.50	10.80	0.50
STA. ROSA DE CABAL	B	2.00	82.0	21.4	0.51	1.00	7.99	0.50
STA. ROSA DE CABAL	B	1.00	61.5	22.1	0.16	0.50	2.60	0.50
STA. ROSA DE CABAL	B	1.40	55.0	22.3	0.19	0.70	3.02	0.50
STA. ROSA DE CABAL	B	2.00	56.0	22.3	0.28	1.00	4.44	0.50

SANTIAGO	B	7.00	76.0	23.1	1.55	3.50	24.41	0.50
SUESCA	B	0.60	33.2	19.6	0.03	0.30	0.54	0.50
TABIO	B	0.20	32.0	20.1	0.01	0.10	0.16	0.50
TABIO	B	0.20	37.1	20.0	0.01	0.10	0.23	0.50
TABIO	B	0.20	50.0	20.1	0.03	0.10	0.39	0.50
TABIO	B	0.20	59.5	20.1	0.03	0.10	0.52	0.50
TIBIRITA	B	0.20	43.3	25.2	0.02	0.10	0.24	0.50
TIBIRITA	B	2.60	50.8	24.9	0.28	1.30	4.44	0.50
TOCAIMA	B	2.00	33.8	31.4	0.02	1.00	0.31	0.50
VILLAMARÍA	B	2.40	63.0	16.2	0.47	1.20	7.42	0.50
VILLAMARÍA	B	10.00	88.0	20.8	2.81	5.00	44.35	0.50
VILLAMARÍA	B	8.00	58.0	20.4	1.26	4.00	19.86	0.50
ZETAQUIRÁ	B	4.00	50.3	25.7	0.41	2.00	6.49	0.50
TOTAL		158.85			18	79.42	289.88	

B=Balneareos.

Fuente: ALFARO C. Improvement of Perception of the Geothermal Energy as a Potential Source of Electrical Energy in Colombia, Country Update

8. CAPITULO V, APLICACIONES EN CONSTRUCCIONES Y CIMENTACIONES GEOTERMICAS.

La ingeniería civil entre sus campos de acción, se encuentra el estudio del suelo con fines de garantizar y proponer diseños de cimentaciones adecuados a determinada estructura para brindar seguridad al proyecto o zona (casos de muros de contención). Como se ha mencionado a lo largo de este documento, la energía geotérmica, es el recurso presente en el subsuelo. La capacidad de aprovechar este recurso es un desafío que en diferentes partes del mundo desde la propia ingeniería civil se ha propuesto soluciones y aplicaciones prácticas; en el presente capítulo se mostraran proyectos de referencia, los antecedentes en la utilización de esta energía en diferentes tipos de construcciones, además de la explicación, mediante la adaptación de cimentaciones geotérmicas (pilotes, mallas) para aprovechar este recurso.

8.1 DESCRIPCION TÉCNICA

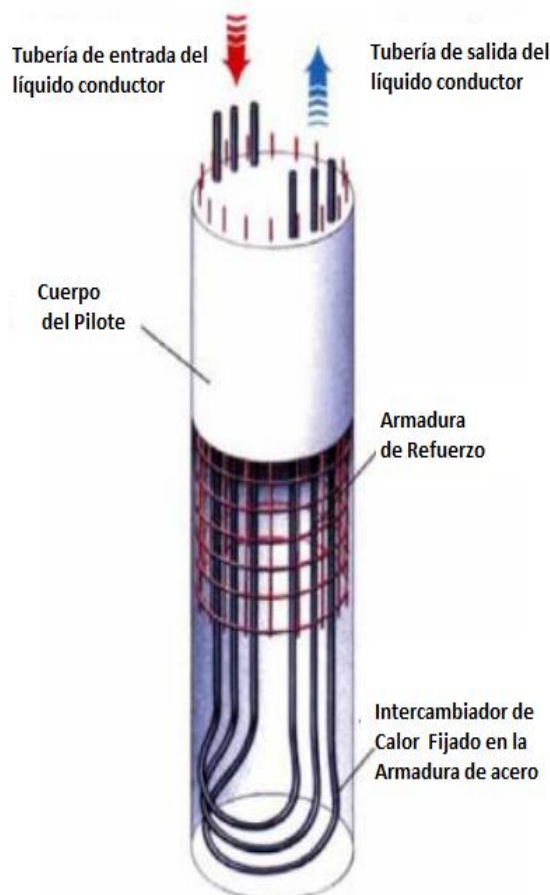
8.1.1 Cimentación Como primera medida se debe reconocer que es una cimentación, esta es una parte fundamental de cualquier estructura que, permite apoyar su peso y distribuir los esfuerzos, como lo menciona Villaz, “cuyo objetivo es proporcionar el medio para que las cargas concentradas en columnas, vigas, muros, se transmitan al terreno produciendo un este un sistema de esfuerzo que puedan ser resistidos con seguridad sin producir asentamientos, o con asentamientos tolerables.”⁴² Existen dos tipos de cimentaciones, directas, e indirectas (No profundas y Profundas), las cimentaciones directas son aquellas que los elementos verticales de la estructura como columnas o muros, se prolongan en el suelo de cimentación, mediante el ensanchamiento de su sección transversal con el fin de disminuir esfuerzos unitarios. Por ejemplo, Zapatas (ligadas, aisladas, conectadas), Losas o Placas de cimentación; la cimentación indirecta, son ideales para construcciones pesadas o suelos problemáticos, lo que se busca es encontrar estratos del suelo resistentes (que se encuentran relativamente a gran profundidad), para brindar el apoyo necesario a la estructura, Pilotes, Cilindros, Cajones.

Las aplicaciones en el aprovechamiento de la energía geotérmica son enfocadas a cimentaciones indirectas, es decir, los pilotes geotérmicos (con sondas geotérmicas embebidos al cuerpo del pilote), y suelos radiantes.

⁴² VILLALAZ C. Mecánica de suelos y cimentaciones. Limusa, Mexico, 2005, 5ed. ISBN: 968-18-6489-1

8.1.2 Pilotes Geotérmicos. En términos estructurales, es decir su finalidad es la misma que un pilote convencional, la diferencia es que son elementos equipados con unos intercambiadores de energía en el suelo circundante (sonda geotérmica). Para exponer mejor el concepto es necesario reconocer las siguientes nociones.

Ilustración 13. Esquema de un pilote con sondas geotérmicas.



Fuente: LAFARGE. Pilotes Geotérmicos. 2013

Sonda Geotérmica: Comúnmente son denominados intercambiadores, son tubos de plástico embebidos al cuerpo del pilote, “es un transmisor local de calor del subsuelo que forma parte del circuito cerrado, en la que fluye el líquido conductor, a través de la cual se alimenta una bomba de calor”⁴³.

Bomba de Calor: Es el equipo que convierte el calor absorbido en el líquido conductor, la energía del subsuelo a calefacción-climatización. “Elemento que permite la transferencia de energía térmica a partir de las fuentes de calor circundantes (aire, suelo o agua subterránea, etc.) a un edificio para cubrir las necesidades de calefacción o refrigeración. Las bombas de calor de intercambio pueden ser de aire o de líquido. Por lo tanto, los tipos de bombas de calor pueden ser aire-aire, aire-líquido o líquido-líquido.”⁴⁴. Cabe mencionar que para el diseño de la bomba según la normativa VDI 4640 de la asociación alemana de ingenieros. (Aprovechamiento térmico del subsuelo), regula las instalaciones de sondas y bombas térmicas, determina aspectos como:

⁴³ GWE. Sondas para Geotermia [en línea]. *PESA Engineering*, [citado el 13 Julio de 2017]. Disponible: < <https://logismarketes.cdnwm.com/ip/pesa-engineering-geotermia-productos-para-geotermia-670171.pdf> >.

⁴⁴ LAFARGE. Pilotes Geotermicos. [en línea]. *Efficient Building System 2013*, [citado el 13 Julio de 2017]. Disponible: < http://www.lafarge.com.es/1.1.2_ESP_-_EnergyPileFoundations_corp.pdf >.

Circuito Cerrado: en un sistema de bomba de calor se extiende entre la bomba de calor y el medio exterior (suelo). En el circuito primario, la energía, se intercambian entre el ambiente exterior y el suelo.

Ilustración 14. Esquema interno de una bomba de calor convencional.

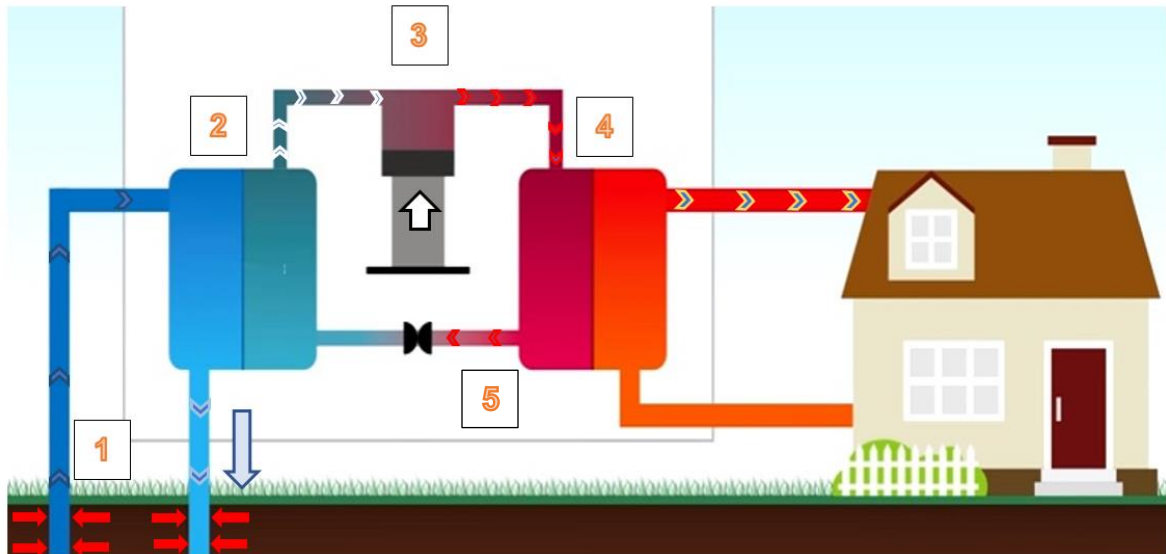


Ilustración realizada en base: ¿Cómo funciona la energía geotérmica? Pansogal.

Nota: El sistema es un circuito cerrado, en donde, no debe existir ninguna clase de fuga, ni del fluido conductor ni del refrigerante adentro de la bomba.”

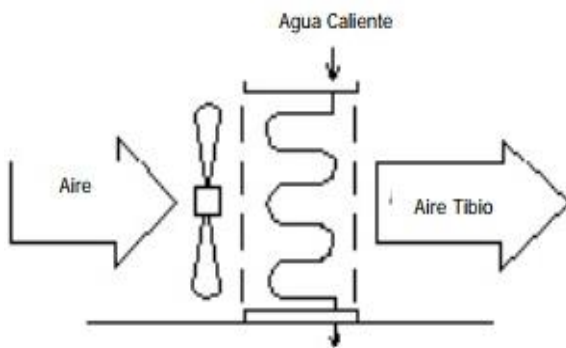
Tabla 22. Proceso interno de una bomba de calor convencional.

PASO	
1.	Entrada del fluido conductor, el cual transfiere la energía geotérmica al primer intercambiador de la bomba.
2.	En el intercambiador, denominado evaporador, gracias a la energía geotérmica evapora el refrigerante presente en el tanque izquierdo del esquema. (T. Min 5°C)
3.	En estado de vapor, el refrigerante entra en el compresor, aumentando su presión y temperatura.
4.	En el intercambiador denominado condensador, entra el refrigerante inmediatamente después de la salida del compresor, en su estado máximo de energía, la cual cede para calefacción, calentar agua, agua sanitaria, piscinas, suelo radiante, o cualquier otro uso; este sale del mismo convertida en líquido.
5.	El refrigerante en fase líquido atraviesa la válvula de expansión, la cual hace que pierda rápidamente su presión y enfriando el refrigerante, dejando en

estado líquido el refrigerante, listo para repetir el proceso.

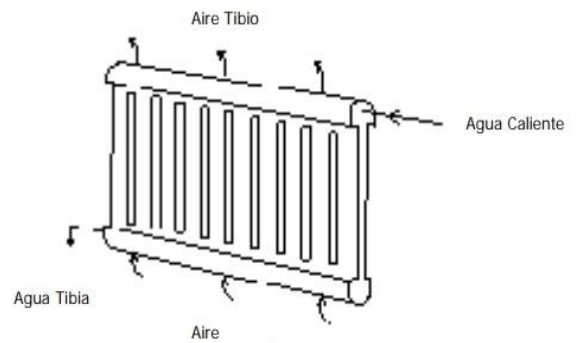
Sistema de distribución: Es el sistema por el cual se encauza el calor o frío en la construcción, ya sea vivienda o edificio, entre los más comunes encontraremos, los convectores, entre los más comunes se encuentra:

Ilustración 15. Convector tipo aire forzado.



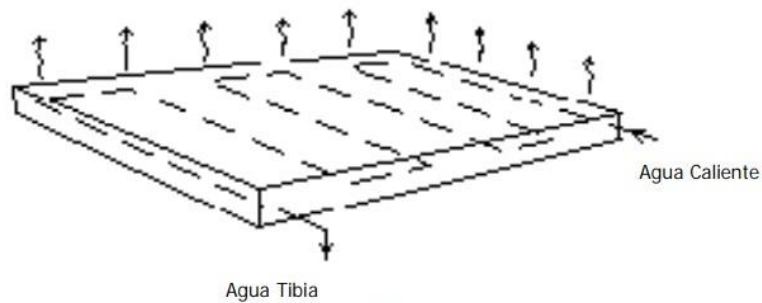
Fuente: UPME. Utilización de la energía geotérmica documento descriptivo.

Ilustración 16. Convector tipo radiador.



Fuente: UPME. Utilización de la energía geotérmica documento descriptivo.

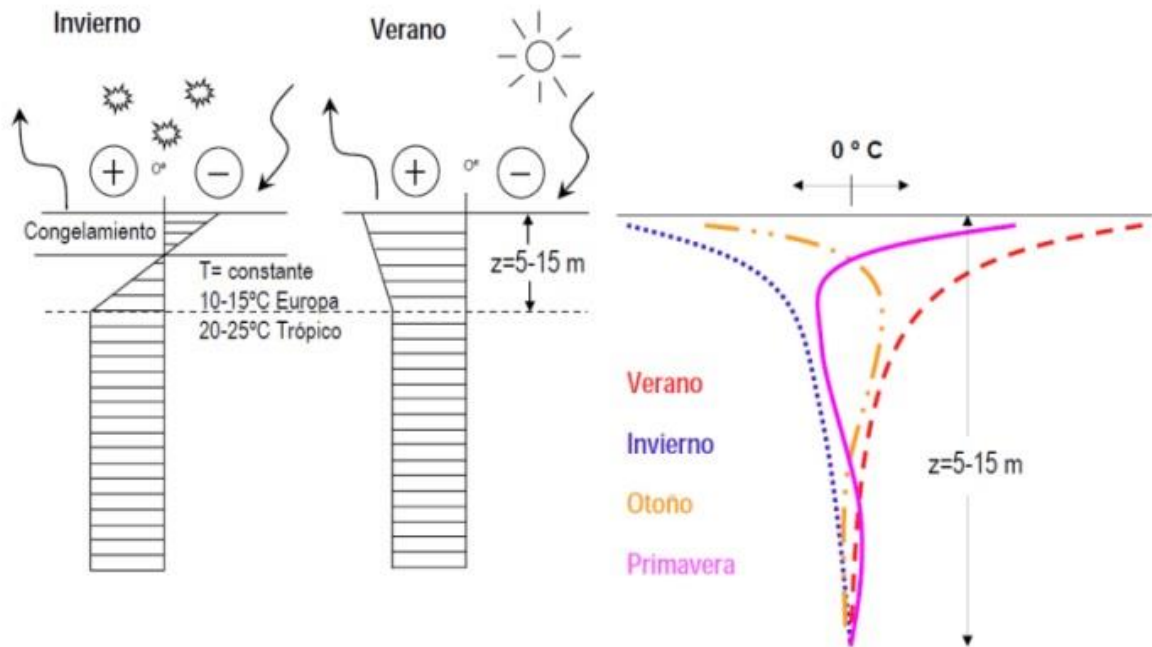
Ilustración 17. Convector Panel de superficie o suelo radiante.



Fuente: UPME. Utilización de la energía geotérmica documento descriptivo.

8.1.3 Propiedades térmicas en el terreno. El suelo, es un sistema de constante intercambio con el entorno, su estado termodinámico está definido por factores como: su formación, composición mineralógica, contenido de agua, calor específico, conductividad térmica, proximidad a fuentes caloríficas (entre las más importantes manifestaciones geotérmicas) y radiaciones solares. Es claro definir inicialmente que la radiación solar varía según la zona; en Colombia los picos anuales más altos de radiación según datos del IDEAM del 2016, se encuentran en la Guajira a $5,5kWh/m^2$, en y el pico más bajo anual se registra en el amazonas $3,5kWh/m^2$, el resto de la nación entre $4,0kWh/m^2$ y $4,5kWh/m^2$, no obstante, cabe resaltar que los cambios climáticos NO influyen en la temperatura del suelo a una profundidad comprendida entre 5m-15m, como se muestra en Ilustración 18. Estaciones climáticas vs variaciones de temperatura en el suelo.) por lo tanto, se establece que “la capa más superficial del terreno alcanza una temperatura media estable estimada en los $15^{\circ}C$.”⁴⁵ Las aplicaciones desde la ingeniería civil, en el aprovechamiento de la energía geotérmica son dirigidas especialmente al beneficio de las fuentes de muy baja temperatura ($5^{\circ}C$ a $30^{\circ}C$).

Ilustración 18. Estaciones climáticas vs variaciones de temperatura en el suelo.

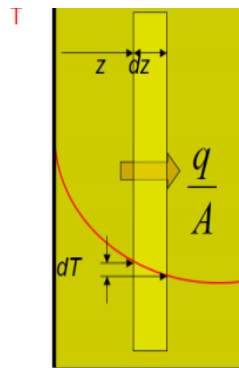


Fuente: RAMÍREZ A. Proyecto de instalación Geotérmica de muy baja entalpía destinada a la refrigeración de vivienda unifamiliar. 2015.

⁴⁵ RAMÍREZ A. Proyecto de instalación Geotérmica de muy baja entalpía destinada a la refrigeración de vivienda unifamiliar. Valencia. 2015. Trabajo de grado (Obras Públicas). Universidad Pública de Valencia.

Conductividad térmica del terreno: $[\lambda]$ Es la habilidad del suelo para transferir calor por lo general mediante, conducción, se expresa en el sistema internacional de unidades en vatios por metro por temperatura: $W/(m * k)$. La alta conductividad térmica se relaciona con el contenido de humedad, sin embargo, cuando hay saturación de poros, el escenario no es prometedor para una alta conductividad.

Ilustración 19. Transporte de energía por conducción. Ley de Fourier.



$$\frac{q}{A} = -k \frac{dT}{dz}$$

Para medir la conductividad térmica existen ecuaciones o principios como la Ley de Fourier, que nos permiten comprender y representar la conductividad de un material. Como se muestra en la ilustración, q es el calor difundido en el material, A es el área y dt/dz representa el gradiente de temperatura.

Capacidad Calorífica: $[C]$ Es un coeficiente que mide la cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo y el cambio de temperatura que experimenta.

Para un sistema formado por la misma sustancia, es decir un sistema homogéneo, se mide en el sistema internacional en Julios por Kelvin o Calorías por grados centígrados: J/K ó $cal/^{\circ}C$

Fuente: KREITH R. Principios de Transferencia de Calor.

$$C = Q/\Delta T = c * m$$

$Q =$ Calor Abosbido del sistema.

$\Delta T =$ Variacion de temperatura.

$C =$ Capacidad Calorífica.

$m =$ masa

Calor Especifico: $[c]$ Es la cantidad necesaria de energía calorífica para que un determinado cuerpo eleve su temperatura en una unidad (K o $^{\circ}C$). se expresa:

$$c = C/m$$

$C =$ Capacidad Calorífica.

$m =$ masa

8.2 PROCEDIMIENTO EN LA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA EN UNA CONSTRUCCIÓN.

8.2.1. Diseño. Como es bien sabido, identificar las fases en la elaboración o ejecución de un diseño en cualquier proyecto de construcción es esencial para definir, conocer, y establecer parámetros guía, que además sirven de contingencia en la puesta en marcha. Se identifican los siguientes aspectos relevantes principalmente dividido en tres fases:

Ilustración 20. Fases relevantes a la hora de ejecutar un proyecto geotérmico de una construcción.

FASE	DESCRIPCIÓN.
I.PRE-DISEÑO.	<ol style="list-style-type: none">1. Reconocimiento de la zona en la que se ubica el proyecto.2. Estudio de los planos del diseño (arquitectónico, estructural) del edificio, o de la construcción.3. Definición del objetivo de la aplicación geotérmica. (Demanda de climatización, datos climatológicos)4. Dimensionar, reconocer los sistemas de calefacción, la refrigeración, y todo el sistema de distribución necesario. (cobertura de la demanda, horas de uso anual, capacidades)5. Estimación económica.
II. DIMENSIONAMIENTO.	<ol style="list-style-type: none">1. Definición de aspectos geotérmicos.2. Estudio de las características físico- térmicas del terreno. (identificar capacidad calorífica, conductividad)3. Dimensionar el intercambiador. (diseño del circuito cerrado)4. Definir ubicación del sistema, profundidad, distancias y cantidades.5. Realización del cronograma.6. Definir los recursos necesarios, (materiales, equipos, mano de obra).
III. EJECUCIÓN.	<ol style="list-style-type: none">1. Contratación del personal necesario.2. Proceder en la realización de parámetros definidos en la fase II, en el terreno.

8.2.2 Estimación térmica del Es importante definir el comportamiento del suelo en condiciones normales, estudiando sus características térmicas, para esto, existen propiedades a resaltar como, el coeficiente de conductividad, y capacidad térmica. Como primera medida, como ya se mencionó en la presente investigación, existen manifestaciones geotérmicas que permiten conocer, o inferir en cual, en determinada zona, pueden existir yacimientos o potencial de energía geotérmica, esto en ultimas nos ayuda a interpretar que las características de los suelos en ciertas áreas son propicias a almacenar o transmitir calor, entalpía. Es necesario definir que las instalaciones, las aplicaciones en el aprovechamiento de esta energía son principalmente enfocadas a temperaturas de 5°C a 30°C, como se puede apreciar en la Ilustración 9. Principales usos de le energía geotérmica en función a su temperatura.)

Conociendo que la temperatura promedio entre una distancia de 5 a 15m es constante a 15°C, y en los trópicos esta varia de 20°C a 25°C, no es necesario hacer estudios, o perforación a niveles tan profundos, debido a que el gradiente térmico expresado en °C/Km cambia de manera considerable después de los 500m. No obstante, es necesario conocer In Situ, las propiedades ya mencionadas del suelo. Se identifican herramientas, cualitativas, (ejemplos mostrados en el capítulo anterior) y cuantitativas a la hora de identificar y medir el potencial geotérmico existen métodos, Termómetro Geotérmico (Catiónico), Registros de Temperatura incremental (CVL), Métodos Geoquímicos. (GLC), comparaciones de proyectos de referencia, Uno de los mas usados en este tipo de proyectos es el TRT (*Thermal Response Test*).

TRT (*Thermal Response Test*):

Este método consiente en la perforación, e introducción de una sonda geotérmica, (con liquido conductor), estándar, debe guardar las características o proporciones de profundidad estimada del proyecto a ejecutar, cuando la perforación ha sido finalizada, y la sonda instalada, ésta se conecta a una unidad móvil de TRT para formar un circuito hidráulico cerrado. “Mediante una resistencia eléctrica se calienta el fluido que circulará, impulsado por la bomba, a lo largo de la sonda. Con ello se consigue disipar energía al terreno. Esta energía debe ser aproximada a la que se querrá disipar en el futuro sistema.”⁴⁶ Los parámetros que quedan almacenados son la temperatura de entrada y salida de la sonda, potencia suministrada y potencia, y tiempo.

⁴⁶ SERRANO V. Estudio de instalaciones de climatización geotérmica en viviendas. Cataluña. Trabajo de grado. Universidad Politécnica Cataluña. Facultad Náutica de Barcelona.

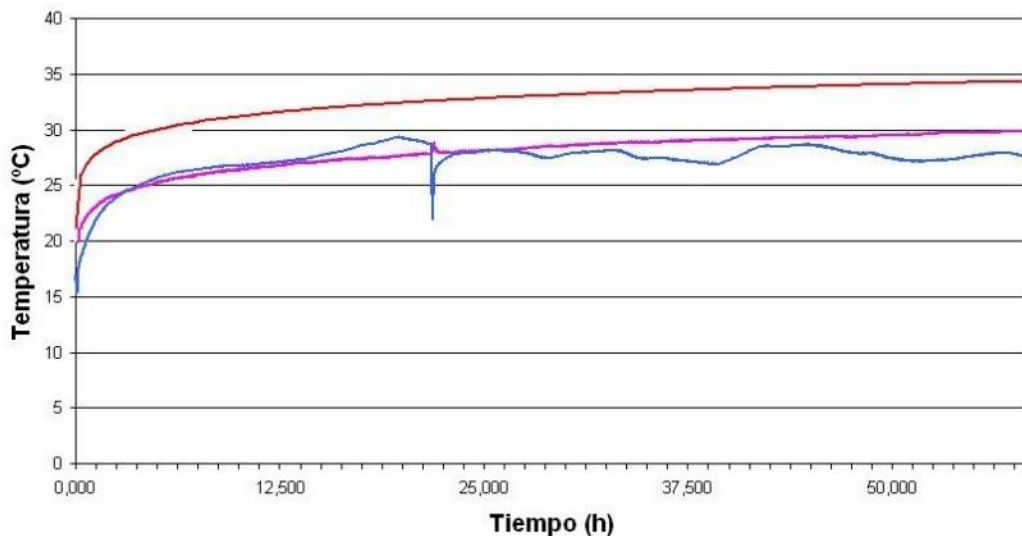
La potencia que disipa del terreno viene dada por la siguiente expresión:

$$P = q * z$$

*P = potencia suministrada por las resistencias.
q = Es la potencia por metro de perforación que se disipará
z = Longitud de perforación.*

Los parámetros que determina el estudio son, conductividad térmica del terreno, (capacidad de transferir calor), materiales atravesados, gradiente de temperatura del terreno, variación de temperatura en el tiempo. La siguiente gráfica es un resultado modelo de un ensayo TRT

Gráfica. 2. Variación de temperatura en el tiempo, obtenido del ensayo TRT.



Fuente: SERRANO V. Estudio de instalaciones de climatización geotérmica en viviendas. Cataluña.

Por lo general, estos métodos suponen costos elevados en la construcción de estas aplicaciones; en referencia a Colombia es necesario la adquisición de los equipos especializados. Sin embargo, como primer reconocimiento se pueden tomar como referencia, la utilización de herramientas cualitativas, para ser complementadas con información existente acerca de las propiedades térmicas de los suelos como por ejemplo las tablas Tabla 23. Caracterización de conductividad

térmica según tipo de suelo.) y la Tabla 24. Valores de Conductividad y Capacidad Térmica según tipos rocas.) Para el dimensionamiento de las sondas geotérmicas se debe tener en cuenta que, el intercambio de calor es el resultante es la diferencia de temperaturas del suelo y el fluido que circule en la sonda. Para determinar la temperatura máxima y mínima del suelo. Se calcula mediante la siguiente ecuación.

Cálculo de la temperatura máxima de suelo: $T_h(X_x) = T_m + A_s * e^{\left(-X_s * \sqrt{\frac{\pi}{360 * \alpha}}\right)}$

Cálculo de la temperatura mínima de suelo: $T_L(X_x) = T_m - A_s * e^{\left(-X_s * \sqrt{\frac{\pi}{360 * \alpha}}\right)}$

- $X_s =$ Es la profundidad.
- $T_M =$ Es la temperatura media del terreno.
- $A_s =$ Es la temperatura media diaria.
- $\alpha =$ Es la difusividad térmica del terreno.

La difusividad térmica mide la velocidad a la que la temperatura cambia dentro de un material, se calcula mediante, la conductividad térmica del mismo dividida entre el producto del valor de su densidad y su capacidad:

$$\alpha = \lambda / (\rho * c)$$

Tabla 23. Caracterización de conductividad térmica según tipo de suelo.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	ENERGIA DE ABSORCION DEL SISTEMA ACONSEJADA	TIPO DE SUELO
< 1,5 W/MK	20 W/m	Suelos de baja resistencia con predominio de sedimentos secos
1,5-3,0W/MK	50 W/m	Suelos con presencia de rocas duras, y sedimentos saturados.
>3,0 W/MK	70 W/m	Terrenos Rocosos con alta conductividad térmicas.

Fuente: GWE. PESA Engineering. Sondas para Geotermia.

Tabl

a 24. Valores de Conductividad y Capacidad Térmica según tipos rocas.

TIPO DE ROCA	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA. (W/MK)			CAPACIDAD TÉRMICA VOLUMÉTRICA.
	Min	Valor Típico.	Max	(MJ/m3k)
ROCAS MAGMÁTICAS				
BASALTO	1,3	1,7	2,3	2,3-2,6
DIORITA	2	2,6	2,9	2,9
GABRO	1,7	1,9	2,5	2,6
GRANITO	2,1	3,4	2,1	2,1-3
PERIDOTITA	3,8	4	5,3	2,7
RIOLITA	3,1	3,3		2,1
ROCAS METAMÓRFICAS				
GNEIS	1,9	2,9	4	1,8-2,4
MARMOL	1,3	2,1	3,1	2
METACUARCITA		aprox. 5,8		2,1
MICASQUISTOS	1,5	2	3,1	2,2
ESQUISTOS ARCILLOSO	1,5	2,1	2,1	2,2-2,5
ROCAS SEDIMENTARIAS				
CALIZA	2,5	2,8	4	2,1-2,4
MARGA	1,5	2,1	3,5	2,2-2,3
ARENISCA	1,3	2,3	5,1	1,6-2,8
LIMOLITAS	1,1			2,1-2,4
GRAVA, SECA	0,4	0,4	0,5	1,4-1,6
GRAVA, SATURADA		aprox 1,8		aprox 2,4
ARENA SECA	0,3	0,4	0,8	1,3-1,6
ARENA SATURADA	1,7	2,4	5	2,2-29
ARCILLA/LIMO, SECO	0,4	0,5	1	1,5-1,6
ARCILLA/LIMO, SATURADO	0,9	1,7	2,3	1,6-3,4
TURBA	0,2	0,4	0,7	0,5-3,8
OTROS MATERIALES				
BENTONITA	0,5	0,6	0,8	aprox 3,9
HORMIGÓN	0,9	1,6	2	aprox 1,8

Fuente: Paud, D *Geothermal energy and heat storage*. 2002.

El
óxi

do de silicio (IV) o dióxido de silicio (SiO₂), esta conformado por silicio y oxígeno, (Comúnmente llamado Sílice), este compuesto cristalizado, (ordenado espacialmente en una red tridimensional) forma el cuarzo. El silicio es un elemento químico hace parte del grupo de los elementos que dividen los Metales y No metales. Es conocido como un importante semiconductor, es decir, tienen propiedades físicas de ser conductores, o aislantes, esto depende del campo eléctrico o magnético, la presión, la radiación, o la temperatura del ambiente en el que se encuentre. La sílice es un mineral que aparece en la mayoría de las rocas. Una roca es ácida cuando contiene abundante sílice, y básica cuando contiene poca cantidad de este óxido. Por lo tanto, se puede decir que las rocas ácidas y con un proceso formativo específico, son buenas conductores, por ejemplo:

Rocas Ígneas.

Son producidas cuando el magma se enfría y se solidifica. Las rocas intrusivas o plutónicas, ricas en cuarzo como el Granito o acompañadas de silicatos como la peridotita, tienen alta conductividad térmica, para recordar, este tipo de rocas se diferencian de las Extrusivas debido a que el proceso de formación se genera bajo la superficie y mediante enfriamiento lento del magma. No obstante, una de las rocas extrusivas que resalta en su conductividad térmica es la Riolita, debido a que está compuesta por cuarzo.

Rocas Metamórficas.

Son el producto de una transformación generada por altas presiones, temperaturas o ambas, en el cual los minerales presentes se transforman creando así una nueva composición mineralógica, una nueva roca. De esta clasificación hay que resaltar la metacuarcita, debido a su alta conductividad térmica, debido a que está compuesta por un alto contenido de cuarzo.

Rocas Sedimentarias.

Son el producto de acumulación de sedimentos sometidos a procesos físicos y químicos (diagénesis), esto provoca, generalmente, su compactación, estos procesos tienen lugar entre 5 o 6 km de la corteza terrestre a temperaturas inferiores a 150-200°C. De esta clasificación las areniscas presentan un alto valor de conductividad térmica, esta roca está compuesta esencialmente de cuarzo.

8.2.3 Diseño del circuito cerrado.

Dimensionamiento del intercambiador (sonda geotérmica).

Para simplificar el cálculo en el diseño, se realizan una serie de supuestos:

-Se toma la tubería como una línea recta infinita con una temperatura constante.

-Se asume el suelo estudiado como homogéneo, (tomar la característica que predomine el estrato donde la mayor parte del pilote descansa.)

El cálculo de la sonda geotérmica se puede realizar en programas comerciales de diseños de intercambiadores y parámetros de VDI 4640 de la asociación alemana de ingenieros. (Aprovechamiento térmico del subsuelo), regula las instalaciones de sondas y bombas térmicas, determina aspectos como:

Tabla 25. Capacidad térmica de la sonda según valores de extracción.

HORAS DE FUNCIONAMIENTO	1800H	2400H
VALORES ORIENTATIVOS GENERALES	Capacidad térmica específica en W/m de sonda	
SUBSUELO INAPROPIADO (SEDIMENTOS SECOS) <1,5<3W/mK	25	20
SUBSUELO NORMAL DE ROCA CONSOLIDAD Y SEDIMENTO SATURADO (SEDIMENTOS SECOS) <3W/ mK	60	50
SUBSUELO CONSOLIDAD CON ELEVADA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA SATURADO <3W/ mK	84	70
ROCAS		
GRAVA, ARENAS, SECAS	<25	<20
GRAVA, ARENA CON CONTENIDO EN AGUA	65-80	55-85
ARCILLA, LIMO, HÚMEDOS	35-50	80-100

PIEDRA CALIZA (MACIZA)	55-70	30-40
PIEDRA ARENISCA	65-80	55-65
MAGMÁTICAS ÁCIDAS (EJ. GRANITO)	65-85	55-70
MAGMÁTICAS BÁSICA (EJ. BASALTO)	40-65	35-55
GNEIS	70-85	60-70

Tabla 26. Parámetros de sondas térmicas.

PARÁMETRO	ACONSEJABLE
LONGITUDES INDIVIDUALES DE SONDAS	40 a 100 m
DIÁMETRO EXTERIOR DE LOS TUBOS	25 a 32 mm
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LA SONDA.	1,5 a 3 W/mK
POTENCIA ESPECÍFICA ABSORBIDA	20 a 100 W/m

Fuente: Norma VDI 464. (Aprovechamiento térmico del subsuelo)

Un factor para tener en cuenta en la selección, del intercambiador, (sonda geotérmica) es el parámetro de resistencia al flujo de calor, este factor se puede calcular de la siguiente forma:

$$R_p = \frac{1}{2 * \pi * k_p} * \ln\left(\frac{D_0}{D_i}\right)$$

En donde:

$$D_0 = \text{Diámetro exterior del tubo. (m)}$$

$$D_i = \text{Diámetro interior del tubo. (m)}$$

$$k_p = \text{Conductividad Termica del Tubo. } \left(\frac{W}{mK}\right)$$

Ilustración 21. Sonda Geotérmica.



Fuente: GWE. Sondas para Geotermia [en línea]. PESA Engineering

Tabla 27. Propiedades físicas de los fluidos conductores.

	Agua	Etilenglicol	Propilenglicol	Metanol
Densidad a 20° (g/cm²)	1	0,925	0,863	0,658
Punto de congelación °C (30% vol.)	0	-13	-12	-26
Punto de ebullición °C	100	197	187	64
Calor específico a 15°c ($\frac{kJ}{kg.k}$)	4,187	2,185	2,50371	2,47
Viscosidad a 0°c (P. s). 10⁻³	1,79	57,4	243	0,87
Viscosidad a 20°c (P. s). 10⁻³	1,01	20,9	60,5	0,60
Viscosidad a 40°c (P. s). 10⁻³	0,655	9,5	18,0	0,45
Conductividad térmica a 20°C (kW/mk) 10⁻³	0,60	0,26	0,20	0,21

Fuente: SERRANO V. Estudio de instalaciones de climatización geotérmica en viviendas

Como lo menciona Serrano⁴⁷, la elección del fluido circulante radica en estos factores: características de transferencia de calor, es decir, conductividad térmica,

⁴⁷ SERRANO V. Estudio de instalaciones de climatización geotérmica en viviendas. Cataluña. Trabajo de grado. Universidad Politécnica Cataluña. Facultad Náutica de Barcelona.

viscosidad, punto de congelación, requerimientos de presión y caídas de presión, también analizar factores como rozamiento, corrosividad, toxicidad e inflamabilidad, y coste del fluido.

Factor de utilización de la energía.

Es un factor esencial para la elección de la bomba de calor, para esto se debe tener en cuenta la potencia pico y la demanda energética a proporcionar.

-Demanda de Energía. (Determina la energía necesaria para que el sistema funcione eficientemente un durante el periodo de tiempo determinado)

-Oferta del terreno. (Capacidad calorífica del terreno)

Diferencia de temperatura del suelo y el circuito cerrado.

Para acertar en la elección de la bomba, una manera simplificada, es determinar diferencia de temperatura del suelo y circuito cerrado. y el diseño las capacidades mínimas en la climatización, teniendo, la oferta calorífica del suelo, se realiza el siguiente cálculo, teniendo en cuenta las temperaturas máximas y mínimas del suelo. Para los ciclos de climatización, Serrano⁴⁸, define que:

$T_L = \text{Temperatura Minina del suelo.}$

$T_H = \text{Temperatura maxima del suelo.}$

$T_{MINB} = \text{Temperatura minina del liquido de la bomba.}$

$T_{MAXB} = \text{Temperatura maxima del liquido de la bomba.}$

$$\text{Calefacción} = T_L - T_{MINB}$$

$$\text{Refrigeración} = T_{MAXB} - T_H$$

Selección de la bomba de calor.

Al seleccionar la de la bomba adecuada en el sistema se debe tener los parámetros anteriores, para conocer la eficiencia del sistema (COP):

⁴⁸ SERRANO V. Estudio de instalaciones de climatización geotérmica en viviendas. Cataluña. Trabajo de grado. Universidad Politécnica Cataluña. Facultad Náutica de Barcelona.

$Q = \text{Capacidad Térmica de la boma.}$
 $W = \text{Potencia eléctrica consumida para suministrar esta capacidad.}$

$\text{COP Calefaccion} = Q_{\text{calefacción}}/W_{\text{calefacción}}$
 $\text{COP Refirgeración} = Q_{\text{refrigeración}}/W_{\text{refrigeración}}$

$Q_{\text{absorvido}} = Q_{\text{calefaccion}} - W_{\text{calefacción.}}$

$Q_{\text{Inyecyado}} = Q_{\text{refrigeración}} - W_{\text{refrigeración.}}$

Las especificaciones de la bomba de calor fijan varios parámetros de diseño del intercambiador enterrado. La bomba de calor determina el calor intercambiado con el suelo y el caudal circulante por el intercambiador de calor. Determina también la eficiencia del sistema COP (Coefficient of performance).

Selección de tubos

Por lo general las tuberías que conectan la bomba de calor y los distribuidores son tubos de polietileno (PE) o Polibutileno (PB); debido a que estos materiales presentan flexibilidad y resistencia, sin embargo, a continuación, en la siguiente tabla se organizan los parámetros para tener en cuenta a la hora de la elección de los tubos.

Tabla 28. Especificaciones a tener en cuenta a la hora de seleccionar la tubería.

ESPECIFICACIONES	
MATERIAL RECOMENADO.	-Polietileno (PE) -Polibutileno(PB)
ELECCIÓN DEL DIÁMETRO	Este factor viene en la recomendación del catálogo de fabricante según las especificaciones del diseño de la bomba. “El diámetro debe ser lo suficientemente grande para producir una pérdida de carga pequeña, y de este modo, necesitar una menor potencia de bombeo. Al mismo tiempo, el diámetro debe ser lo suficientemente pequeño para asegurar una alta velocidad, factor que hará que el fluido circule en régimen turbulento. Cuanto mayor sea la turbulencia, mayor será el intercambio térmico.” ⁴⁹

⁴⁹ SERRANO V. Estudio de instalaciones de climatización geotérmica en viviendas. Cataluña. Trabajo de grado. Universidad Politécnica Cataluña. Facultad Náutica de Barcelona.

TEMPERATURA	<p>En los ciclos de climatización las temperaturas comunes en estos procesos son (valores normales):</p> <p><u>-Calefacción:</u> El condensador genera agua caliente a una temperatura de 45-55°C, y el evaporador produce agua fría a 5-15°C.</p> <p><u>-Refrigeración:</u> El condensador genera agua caliente a unas 25°C- 35°C y el evaporador 7°C-12°C.</p>
--------------------	--

Sistema de distribución:

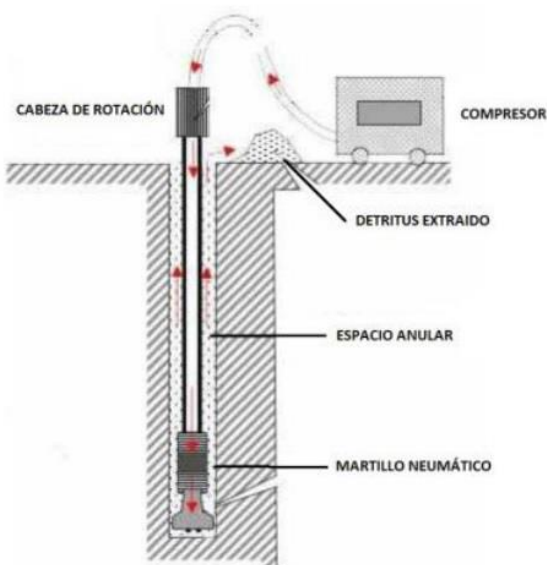
Se debe seleccionar el sistema de distribución según las necesidades y diseño de la climatización del proyecto, los sistemas de distribución más comunes que encontramos son: Convector tipo aire forzado, Convector tipo radiador, Panel radiante.

8.2.3 PUESTA EN OBRA

Perforación.

En la instalación de pilotes se pueden utilizar distintas técnicas de perforación, una de ellas es rotopercusión, mediante una maquina con martillo en el extremo de la punta, con circulación directa de aire y agua, este tipo de equipo es común en suelos duros. Para suelos con predominio de arenas y gravas, terrenos más inestables, se utiliza una Rotación, con corona de diamante, tricono.

Tabla 29. Perduración por Roto percusión.



Instalación de la Sonda en la armadura.

Fuente: RAMÍREZ A. Proyecto de instalación Geotérmica de muy baja entalpía destinada a la refrigeración de vivienda unifamiliar. 2015

Las sondas geotérmicas están instaladas cerca de la superficie exterior del pilote, dentro de la armadura de refuerzo; es importante que exista una buena conexión, mediante amarras y sellantes entre los tubos, empalmes y conectores para garantizar que el sistema funciona correctamente. Antes de la instalación se recomienda realizar los siguientes procesos mostrados en la Tabla 30 Pruebas del Intercambiador.) estas pruebas se deben hacer con la sonda geotérmica extendida sobre superficies lisas, por tramos, rectos y curvos, simulando la instalación.

Tabla 30 Pruebas del Intercambiador.

PURGA	Se limpia la tubería en su interior, esto se realiza mediante la circulación de agua a presión a una velocidad no inferior a 0,6 m/s.
PRUEBAS DE PRESIÓN.	Se verifica que no existan fugas ni pérdidas de presión. “Se mantendrá la instalación a una presión mínima de 3 veces la presión de trabajo durante un tiempo de dos horas. Durante este tiempo se comprueba que la

presión no haya disminuido más de 0,2 bares.⁵⁰

Existen diferentes modos de instalación de la sonda geotérmica, la más común es en flujo paralelo y flujo cruzado.

Ilustración 22 Diseños de instalación de sondas geotérmicas.



Tabla 31. Guía de la sonda en

Fuente: ASETUB. Geotermia y Cimentaciones termoactivas. España

de instalación la armadura

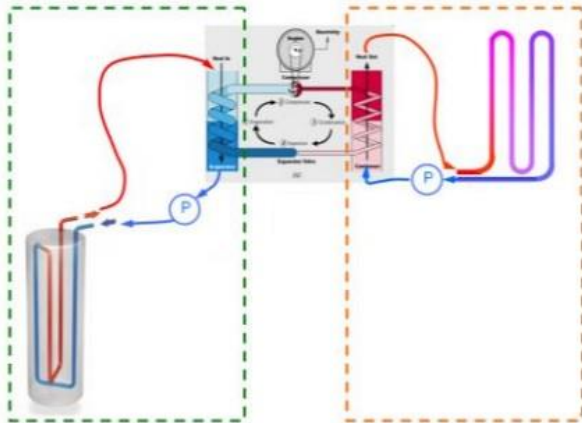
PASOS.

1. Limpiar la superficie del intercambiador, y la armadura.
2. Instalar el intercambiador a la armadura, mediante agarraderas de plástico anchas, las sondas deben quedar tirantes
3. Aplicar el sellante, Bentonita con grafito para el sellado del espacio anular de las sondas, conductividad térmica de 2.5W/mK.
4. Bañar la armadura y la sonda con masilla sellante de alta conductividad

del pilote.

⁵⁰ SERRANO V. Estudio de instalaciones de climatización geotérmica en viviendas. Cataluña. Trabajo de grado. Universidad Politécnica Cataluña. Facultad Náutica de Barcelona.

Ilustración 23 Sonda geotérmica, instalada en la armadura del pilote.



Fuente: LAFARGE. Pilotes Geotérmicos. Efficient Building System 2013

El vaciado de concreto se hace de forma convencional, es importante mencionar que, en la instalación de la sonda, no debe existir vacíos con la armadura del pilote esto para que se dé una mayor conductividad.

Instalación del circuito cerrado.

Una vez instalada el sistema geotérmico en el pilote, se procede a terminar de instalar el circuito cerrado, (acople de tuberías) se instala mediante una arqueta de distribución, en los extremos de las ramificaciones de las tuberías se instalan válvulas registradoras y posteriormente se instalarán dichas válvulas al distribuidor de entrada y salida de las sondas geotérmicas

Ilustración 24. Circuito Cerrado

“En la estación de bombeo se conectan al circuito primario gracias al cuadro de distribución. Se conecta a través de la bomba de calor.”⁵¹ Para la instalación de la bomba se recomienda mirar el manual de la bomba de calor y los lineamientos técnicos de esta.

Fuente: LAFARGE. Pilotes Geotérmicos. Efficient Building System 2013

Fotografía 7. Doble distribuidor, entrada y salida de las sondas geotérmicas.



Fuente: Colectores Preoc.






⁵¹ LAFARGE. Pilotes Geotermicos. [en línea]. Efficient Building System 2013.[citado el 13 Julio de 2017]. Disponible: < http://www.lafarge.com.es/1.1.2_ESP_-_EnergyPileFoundations_corp.pdf>.

8.3 ANÁLISIS DE COSTOS

Se toma como referencia el proyecto de instalación de sondas geotérmicas en una vivienda residencial de Paterma-Valencia, de 3 plantas con un área de 159.625m²

Tabla 32. Presupuesto de elementos principales en un proyecto geotérmico

PRESUPUESTO DE ELEMENTOS PRINCIPALES EN UN PROYECTO GEOTÉRMICO						
Elemento	Descripción		Unidad	Cantidad	Precio/unidad	Total
Sonda Geotérmica	Tubería polietileno PE32 de diámetro nominal 1 1/4"		m	300	\$ 118.557	\$ 35.567.120
Bomba geotérmica	Bomba Ageo+ 80HT de CIAT Bomba tipo Agua-Agua con grupo hidráulico en los circuitos de captación y de interior		Un.	1	\$ 5.357.152	\$ 5.357.152
Accesorios	Distribuidor de HDPE, distribuidor de entrada y salida para sondas geotérmicas con tuberías de 32mm		Un.	2	\$ 489.557	\$ 979.114

Válvula Reguladora		Un.	10	\$ 5.557	\$ 55.570
Arqueta de distribución, para la conexión de las sondas de geotérmica, compuesta de arqueta DN 800 - DN1000, con tapa, 4 conexiones		Un.	2	\$ 127.300	\$ 254.600
Tubería de HDPE		m	100	\$ 7.557	\$ 755.700
Material de relleno *Thermoseal: Bentonita con grafito para el sellado del espacio anular de las sondas, conductividad térmica de 2.5W/mK (Aprox.)		Lb	4	\$ 42.887	\$ 171.548
Material de sellado: Calidutherm: Masilla sellante de alta conductividad		Lb	4	\$ 32.887	\$ 131.548
TOTAL					\$ 43.272.332

Presupuesto de construcción en base a, RAMÍREZ A. Proyecto de instalación Geotérmica de muy baja entalpía destinada a la refrigeración de vivienda unifamiliar. 2015

8.4 ANTECEDENTES

Entorno a la instalación de pilotes geotérmicos, en el mundo se resaltan proyectos como:

Lainzer Tunnel, Australia

Localización: Salzburgo, Australia.

Tipo de proyecto: Túnel Ferroviario

Datos de referencia:

- 59 Pilotes Geotérmicos
- Longitud del pilote 20m
- Diámetros de pilote.
- Capacidad de calefacción: 100kW.
- Carga anual de calefacción: 144 mWh

El túnel de Lainzer es una vía del ferrocarril en la ruta Viena - Salzburgo y se encuentra en las afueras de Viena. "Han sido equipados con 59 pilotes con sondas geotérmicas para suministrar energía a un colegio cercano"⁵².

Tabla 33.
geotérmico de
Austria.

Esquema
Lainzer, Tunnel



⁵² LAFARGE. Pilotes Geotermicos. [en línea]. Efficient Building System 2013.[citado el 13 Julio de 2017]. Disponible: < http://www.lafarge.com.es/1.1.2_ESP_-_EnergyPileFoundations_corp.pdf>.

Columbus Center

Localización: Viena, Austria.

Tipo de proyecto: Centro Comercial.

Datos de referencia:

- Superficie total: 45.000 m²
- 300 Pilotes geotérmicos.
- Longitud de pilotes: 7 – 20m
- Diámetro de pilote: 20cm
- Muros pantalla termo activos: 12.400m²
- Calefacción: 1,200kW.
- Refrigeración: 1,400kW.
- Capacidad anual de calefacción: 660 kWh.
- Capacidad anual de refrigeración: 1,670MWh

“El Columbus Center en Viena es un gran centro comercial con aparcamiento subterráneo. El centro comercial cuenta con 6 plantas sobre rasante. Su cimentación cuenta con pilotes y el sótano de la estructura se ha realizado con muros pantalla. se utilizan como cimientos termoactivo”⁵³.

Ilustración 25. Centro Comercial Columbus.



⁵³ LAFARGE. Pilotes Geotermicos. [en línea]. Efficient Building System 2013.[citado el 13 Julio de 2017]. Disponible: < http://www.lafarge.com.es/1.1.2_ESP_-_EnergyPileFoundations_corp.pdf>.

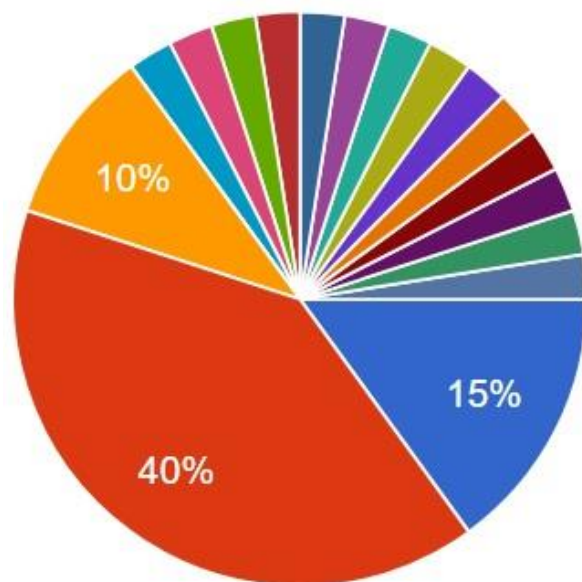
9. CAPITULO VI, RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que uno de los objetivos iniciales del proyecto es exponer el desconocimiento de la energía geotérmica en Colombia, nociones y aplicaciones; en el desarrollo de la investigación se realizó una encuesta, dirigida a una población de 40 personas; Sondeo definido en escala Likert⁵⁴, motivado principalmente para evaluar las opiniones, y actitudes de una persona en referencia a la temática desarrollada. A continuación, se presenta el análisis de la encuesta:

Pregunta Número 1.

¿Cuál es su área de formación profesional?

Gráfica. 3 Respuestas de la pregunta número 1.



- El 40% de la población encuestada, representa las respuestas de estudiantes de Ingeniería Civil.
- El 15% de la población encuestada, representa las respuestas de estudiantes de Ingeniería Ambiental.
- El 10% de la población encuestada, representa las respuestas de estudiantes de Ingeniería Electrónica.
- El 35% de la población encuestada corresponde a personas de distintas profesiones, tales como: Geología, Medicina, Contaduría, Historia, Finanzas Internacionales, Administración, Enfermería, Física.

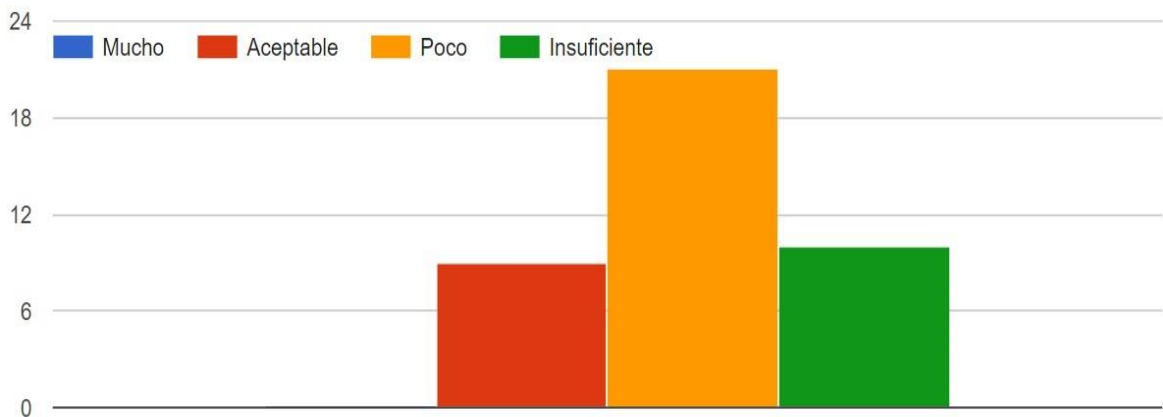
⁵⁴ Likert: Encuesta donde el usuario responde e desacuerdo. Las escalas Likert usan de investigar que son utilizados para medir actitudes y opinion acuerdo o desacuerdo de los encuestados.

La encuesta fue dirigida principalmente a estudiantes de Ingeniería Civil, Ingeniería Ambiental, Ingeniería Electrónica, para conocer las nociones que se tienen en referencia a la geotermia desde la academia, no obstante, se quiso indagar en personas ajenas a la ingeniería, con el objetivo de medir opiniones desde diferentes campos de acción.

Pregunta Número 2.

¿Cuánto considera que conoce acerca la Energía Geotérmica en comparación al resto de energías renovables?

Gráfica. 4 Respuestas de la pregunta número 2.



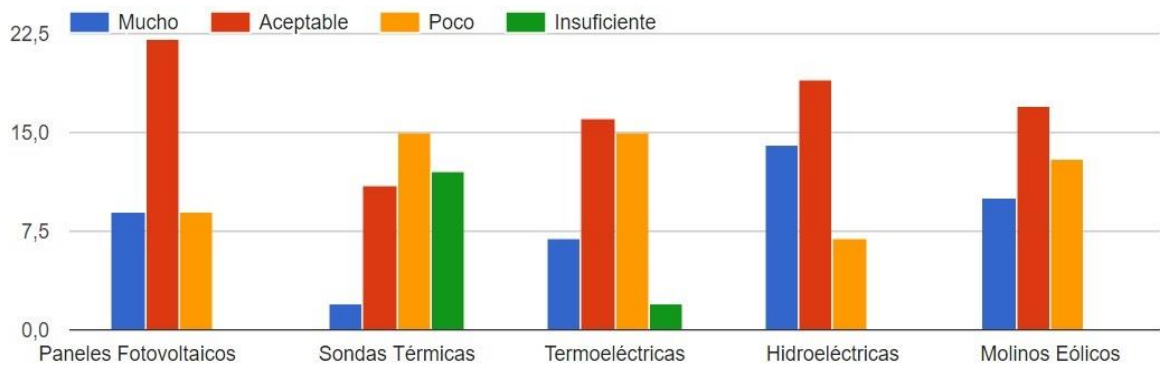
Esta pregunta tiene como objetivo sondear cuanto saben las personas de la energía geotérmica en comparación a las demás energías renovables. Las opciones de respuesta son: mucho, representa conocimientos en la generación, explotación y aprovechamiento de esta energía; aceptable, representa nociones básicas; poco, nociones limitadas, insuficiente es desconocimiento total.

La opción, poco, representa un 52.4% mientras que las opciones, insuficiente y aceptable, representan un 25% y un 22.5% respectivamente. Se puede decir que existe una desinformación cercana al 74.9%, un vacío de información generalizado con referencia a la energía geotérmica.

Pregunta Número 3.

¿Qué tanto conoce sobre el aprovechamiento o explotación de las siguientes aplicaciones de generación de energía eléctrica? (Aplicaciones, usos y/o metodologías)

Gráfica. 5 Respuestas de la pregunta número 3.



Esta pregunta tiene como objetivo medir que tanto se conoce sobre las metodologías mencionadas, en la generación eléctrica, en especial sobre el aprovechamiento de la energía geotérmica, mediante sondas térmicas, (intercambiadores) en comparación a diferentes tecnologías. Las opciones de respuesta son: mucho, representa conocimientos sobresalientes; aceptable, representa nociones básicas; poco, nociones limitadas; insuficiente es desconocimiento total.

Paneles Fotovoltaicos: De la población encuestada, el 22.5% seleccionó la opción mucho, el 55% seleccionó la opción aceptable, el 22.5% seleccionó la opción poco; sobre que tanto conoce acerca este tipo de metodología.

Sondas Térmicas: De la población encuestada, el 5% seleccionó la opción mucho, el 27.5% seleccionó la opción aceptable, el 37.5% seleccionó la opción poco, el 30% seleccionó la opción insuficiente; sobre que tanto conoce acerca este tipo de metodología.

Termoeléctricas: De la población encuestada, el 17.5% seleccionó la opción mucho, el 40% seleccionó la opción aceptable, el 37.5% seleccionó la opción poco, el 5% seleccionó la opción insuficiente; sobre que tanto conoce acerca este tipo de metodología.

Hidroeléctricas: De la población encuestada, el 35% seleccionó la opción mucho, el 47.5% escogió la opción aceptable, el 17.5% eligió la opción poco; sobre que tanto conoce acerca este tipo de metodología.

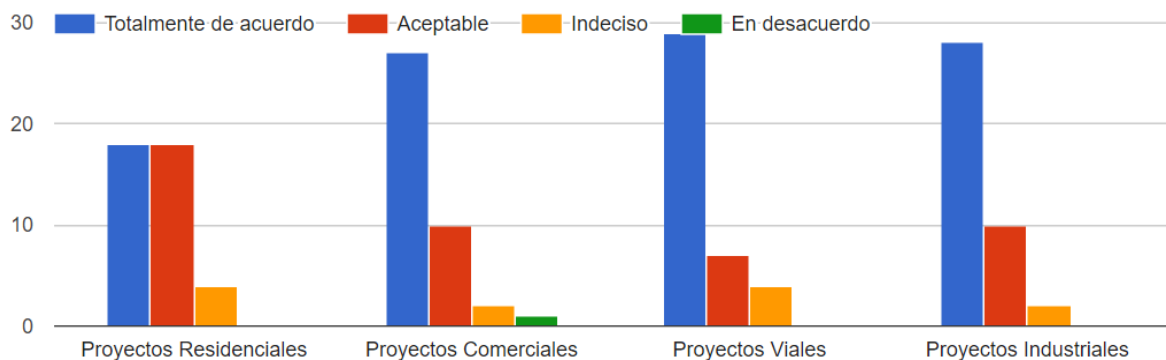
Molinos Eólico: De la población encuestada, el 25% seleccionó la opción mucho, el 42.5% escogió la opción aceptable, el 32.5% eligió la opción poco; sobre que tanto conoce acerca este tipo de metodología.

Se puede evidenciar un desconocimiento generalizado sobre las sondas térmicas, por lo tanto, se justifica la realización de la investigación enfocada en las metodologías o técnicas en el aprovechamiento de la energía geotérmica. Las hidroeléctricas, fue una de las opciones que registro mayor reconocimiento.

Pregunta Número 4.

¿Aprueba usted que, desde el diseño de proyectos de construcción (tales como residencial, comercial, vial y/o industrial) se deban desarrollar metodologías para el aprovechamiento de energías renovables, aunque esto suponga incrementos considerables en los costos del mismo?

Gráfica. 6 Respuestas de la pregunta número 4.



Esta pregunta tiene como objetivo medir el nivel de aceptación, en la utilización de energías renovables en diferentes proyectos de construcción, aunque esto suponga incrementos en él mismo. Las opciones de respuesta son: totalmente de acuerdo, es decir aprobación total; aceptable, reconoce la importancia en la implementación, pero con ciertos parámetros; Indeciso, representa la incertidumbre o desconocimiento; En desacuerdo, respuesta negativa, desaprueba la propuesta.

Proyectos residenciales: De la población encuestada, el 45% está totalmente de acuerdo, el 45% acepta, el 10% esta indecisa; con la afirmación, es necesario desarrollar metodologías para el aprovechamiento de energías renovables, aunque esto suponga incrementos considerables en los costos del mismo en éste tipo de proyectos.

Proyectos Comerciales: De la población encuestada, el 67.5% está totalmente de acuerdo, el 25% acepta, el 5% esta indecisa, el 2.5% está en desacuerdo; con la afirmación, es necesario desarrollar metodologías para el aprovechamiento de energías renovables, aunque esto suponga incrementos considerables en los costos del mismo en este tipo de proyectos.

Proyectos viales: De la población encuestada, el 72.5% está totalmente de acuerdo, el 17.5% acepta, el 10% esta indecisa; con la afirmación, es necesario desarrollar metodologías para el aprovechamiento de energías renovables, aunque esto suponga incrementos considerables en los costos del mismo en este tipo de proyectos.

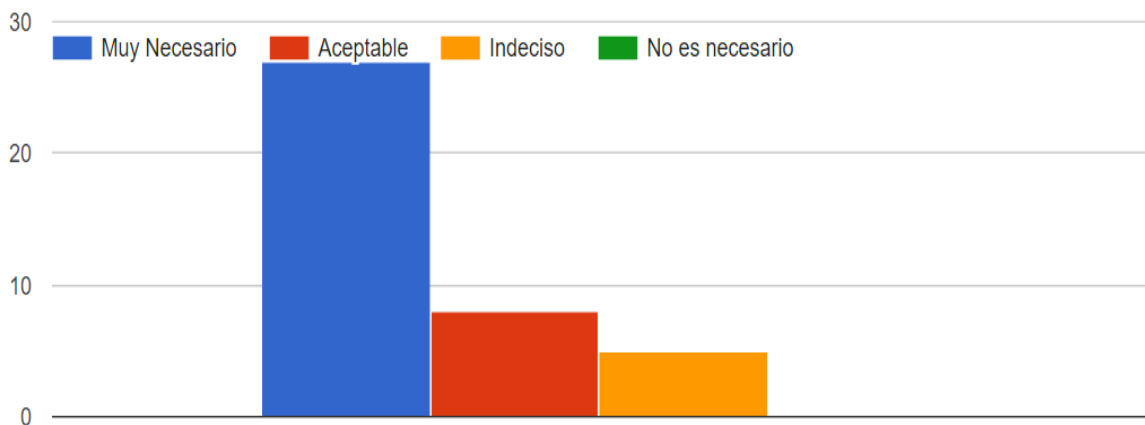
Proyectos industriales: De la población encuestada, el 70% está totalmente de acuerdo, el 25% acepta, el 5% esta indecisa; con la afirmación, es necesario desarrollar metodologías para el aprovechamiento de energías renovables, aunque esto suponga incrementos considerables en los costos del mismo en este tipo de proyectos.

De la muestra se analiza que, de forma generalizada, se aprueba el desarrollo de metodologías en el aprovechamiento de energías renovables, es decir existe una percepción positiva, en referencia a la utilización de fuentes alternas. Los proyectos viales e industriales registran unos mayores niveles porcentuales en la implementación de metodologías, aunque esto suponga incrementos del costo del mismo.

Pregunta Número 5.

¿Qué tan importante es para usted, que en la Ingeniería Civil se efectúen investigaciones en áreas como el suelo, la hidráulica entre otras; orientados en proponer soluciones sostenibles a problemáticas energéticas?

Gráfica. 7 Respuestas de la pregunta número 5.



Esta pregunta tiene como objetivo, establecer cuan necesario se percibe el proyecto que se desarrolla, cuyo propósito es exponer soluciones prácticas, que puedan ser aprovechadas desde diferentes sectores de la construcción, en la ingeniería civil como es el caso de los pilotes geotérmicos. Las opciones de respuesta son: muy necesario, es decir aprobación total; aceptable, reconoce la importancia en la investigación, pero con ciertos parámetros; Indeciso, representa la incertidumbre o desconocimiento; En desacuerdo, respuesta negativa, desaprueba la propuesta.

La opción, muy necesario registro el 67.5%, la opción aceptable, registró el 20% y la opción indecisa, registró el 12.5%. De esto se puede afirmar que existe un 87.5% de aceptación, es decir en términos generales existe una percepción positiva, por lo tanto, se aprueba que desde de la Ingeniería Civil se deban abrir campos investigativos para proponer soluciones energéticas, propuestas de

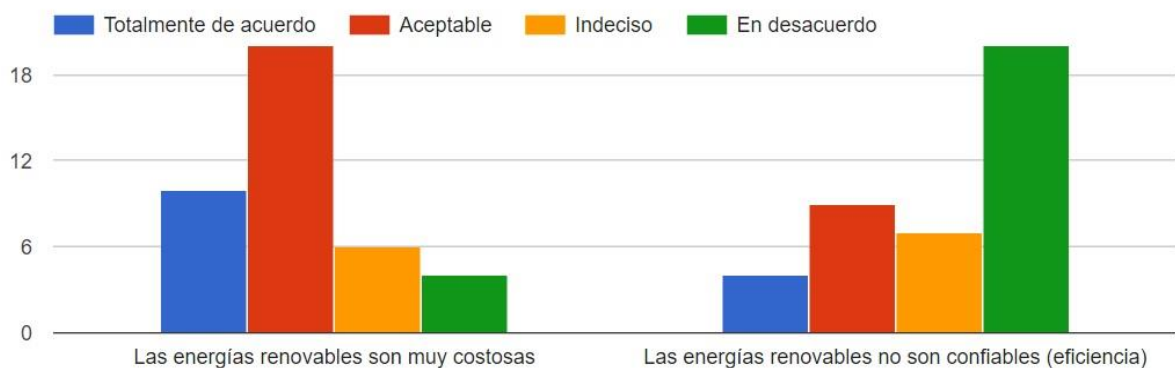
construcciones autosostenibles, y demás soluciones razonables a problemáticas energéticas.

Pregunta Número 6.

De las siguientes afirmaciones seleccione una opción.

Las energías renovables son muy costosas.
Las energías renovables no son confiables.

Gráfica. 8 Respuestas de la pregunta número 6.



Esta pregunta tiene como objetivo, exponer las nociones en torno a las energías renovables, partiendo de dos supuestos, claves a la hora de medir la percepción que se tiene sobre estas energías. Las opciones de respuesta son: totalmente de acuerdo, es decir aprobación total; aceptable, admite la afirmación, pero con ciertos parámetros; Indeciso, representa la incertidumbre o desconocimiento; En desacuerdo, respuesta negativa, desapruueba la afirmación.

De la población encuestada, el 25% está totalmente de acuerdo, el 50% acepta, el 15% esta indecisa, el 10% está en desacuerdo; con la afirmación, “Las energías renovables son muy costosas.” Por lo tanto, se puede decir que, un 75% percibe estas energías pueden llegar a representar costes elevados.

De la población encuestada, el 10% está totalmente de acuerdo, el 22.5% acepta, el 17.5% esta indecisa, el 50% está en desacuerdo; con la afirmación, “Las energías renovables no son confiables.” En términos generales se puede decir que existe una especie de confusión en torno a la eficiencia de las energías renovables debido la división de opiniones, pero la mitad de la población de la muestra se muestra confiada en la utilización de este tipo de energías.

Pregunta Número 7.

Enumere las soluciones energéticas que conozca (NO mencionadas en esta encuesta) que puedan ser explotadas y/o aprovechadas desde las Ingenierías

Esta pregunta tiene como objetivo, conocer diferentes fuentes de energía alterna que se puedan trabajar desde las ingenierías, en trabajos conjuntos, además para enfatizar en la investigación, la importancia en abordar problemáticas para proponer soluciones, y desafíos en el cambio de paradigmas.

Las respuestas obtenidas de esta pregunta fueron:

- 1) Energía a partir del aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos. (Biogás e incineración).
- 2) Energía Piezoeléctrica.
- 3) Energía Marítima.
- 4) Biomasa.

De la investigación realizada se deduce que:

- Existe una gran desinformación sobre la energía geotérmica en Colombia, por lo tanto, se ignoran las aplicaciones prácticas en el aprovechamiento de esta. Los balnearios y las zonas turísticas son las únicas aplicaciones que el país hace de este recurso, en departamentos como Cundinamarca, Boyacá, Norte de Santander, Antioquia, Caldas, Risaralda, Tolima, Cauca, Nariño, Putumayo, Magdalena y Chocó.
- De las energías renovables la geotermia es una de las más eficientes, debido a que su funcionamiento no depende de factores como, cambios de temperatura en el ambiente, variaciones en la radiación solar, o aspectos

meteorológicos, depende del calor interno del subsuelo, el cual permanece estable a una distancia de aproximada de 5 metros de la superficie, por lo tanto, se establece que esta fuente energética es constante.

- Los principales usos de la energía geotérmica, el cual se enfoca el proyecto, en función a su temperatura son de 15°C a 30°C, cabe resaltar que la profundidad mínima de un pilote es de 12m, según la caracterización de suelos en Europa a dicha profundidad se encuentra una variación de temperatura de 10°C a 25°C, y en los países tropicales como Colombia se tiene una variación de 20°C a 25°C, por lo tanto, no es necesario la instalación de sistemas geotérmicos a grandes profundidades.

- En Colombia, se han realizado investigaciones sobre la energía geotérmica desde finales de la década de los 60s, pero aún no se ha desarrollado la explotación de esta energía principalmente por la falta de inversión, por lo tanto, se puede decir que existe un desinterés del estado en desarrollar esta fuente energética, no obstante empresas como Isagen en convenio con internacionales, tienen planes para poner en marcha proyectos geotérmicos en la nación.

- Como primer reconocimiento en la exploración de yacimientos geotérmicos en determinada zona, es de vital importancia la identificación de manifestaciones como, hidrotermales, fumarolas, actividad volcánica o sísmica.

- En el territorio nacional, la principal actividad volcánica está ubicada en la Zona Andina, a lo largo de las cordilleras central y occidental.

- Acerca el potencial geotérmico en Colombia, se han señalado áreas importantes relacionadas a los volcanes Cerro Bravo (Herveo, Tolima), Cerro Machín (Cajamarca, Tolima), Nevado del Ruiz (límites de Caldas y Tolima), Nevado del Huila (Huila, Tolima, Cauca), Cadena Volcánica de los Coconucos, cuyo volcán más representativo es el Volcán Puracé (Cauca), Volcán Galeras (Pasto), Volcán Doña Juana (Nariño), Volcán Azufral (Nariño), el Volcán Paipa (Boyacá).

- Resulta enriquecedor que se aborden campos de investigación en auge, desde diversas áreas de estudio, como en este caso que se trabaja el tema de la energía geotérmica, enfocado en el posible aprovechamiento del recurso mediante pilotes geotérmicos, esto a futuro pueden resultar de gran utilidad.

- Las cimentaciones geotérmicas pueden representar gran beneficio en proyectos de construcción tanto comerciales y turísticos, por ejemplo, en el aprovechamiento de la geotermia para la climatización, iluminación de Hoteles, Piscinas, Centros Comerciales.
- Según la población encuestada, existe una aceptación generalizada en implementar este tipo de proyectos para la utilización de energía renovable, aunque esto suponga incrementos en los costos del mismo, en Proyectos Comerciales, es decir hoteles, centros comerciales, puntos de venta.
- Si bien los costos en el desarrollo de pilotes geotérmicos son elevados, estos representan un beneficio a largo plazo debido a que se reducirán los gastos de consumo energético asociados a la climatización.

BIBLIOGRAFÍA

ALFARO C. Improvement of Perception of the Geothermal Energy as a Potential Source of Electrical Energy in Colombia, Country Update [base de datos en línea]. Proceedings World Geothermal Congress 2015 (Abril 2015) [citado en 13 de julio de 2017] Disponible en PANGEA STANFORD

BERTANI R. Geothermal power generation in the World 2010-2014 Update Report En : Proceedings World Geothermal Congress 2015 [base de datos en línea]. Vol. 60, Enel Green Power, via Andrea Pisano, 120, 56122 Pisa (Abril 2015); p. 10 [citado en 20 de junio de 2017] Disponible en PANGEA STANFORD Research Database

BLACK R. Europe "gets" under Africa. En: BBC. London. 11, Abril 2011. sec.2.p3

BRUNI, S. La Energía Geotérmica [en línea]. *BID-Centro de Innovación Energética*. 3 ed. Inter American Development Bank, 2014 .[citado el 22 abril 2017]. Disponible: <<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6601/EI%20calor%20de%20la%20Tierra%3A%20fuente%20inagotable%20de%20energ%C3%ADa%20sostenible.pdf?sequence=4>>.

CAPPETTI, G. 100 años de Geotermia en Larderello. Desde la explotación intensiva a producción sustentable. [en línea]. ENEL [Ciudad de México]: Green Power [Citado en 1 junio] Disponible en: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1557009>>

GEO ENCIPLOPEDIA. Núcleo de la tierra. [en línea] <<http://www.geoenciclopedia.com/nucleo-de-la-tierra/>> [citado en 5 de junio de 2017].

GEVORKIAN P. Alternative Energy Systems in Building Desing. Green Source, 2010. 338p. ISBN 978-0-07-162147-2

GWE. Sondas para Geotermia [en línea]. *PESA Engineering*. [citado el 13 Julio de 2017]. Disponible: < <https://logismarketes.cdnwm.com/ip/pesa-engineering-geotermia-productos-para-geotermia-670171.pdf> >.

KALMAN B. Los Volcanes de la Tierra. Crabtree Publishing Company. 2009. ISBN-10: 0778782611

LAFARGE. Pilotes Geotermicos. [en linea]. Efficient Building System 2013.[citado el 13 Julio de 2017]. Disponible: < http://www.lafarge.com.es/1.1.2_ESP_-_EnergyPileFoundations_corp.pdf>.

LEQUERICA R. Geotermia: Otra fuente de energía para Colombia. Bogotá, 2008. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

LLOPIS, G. y RODRIGO, V. Guía de la Energía Geotérmica. España.: FENERCOM, 2008. p .26-28.

LUND W. John, BOYD Tonyal. Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review En: Geothermics [base de datos en linea]. Vol. 60, 63-93. (Enero 2016); p. 65[citado en 20 de junio de 2016] Disponible en SCIENCE DIRECT Research Database.

MARZOLF, N.Emprendimiento de la Energía Geotérmica enColombia. [enlinea]. BID/JC. 2014 [Bogotá, Colombia]: Inter-AmericanDevelopmentBank, [citado en 4 de junio] Disponible en: <<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6558/Energia%20Geotermica%20Colombia%207-1-14finalweb.pdf?sequence=1>> p.18

MONROE J; POZO M; WICANER R. Geología: Dinámica y Evolución de la tierra. 4ed: Ediciones Paraninfo, S.A, 2008. p 145. ISBN-10: 8497324595

MONTENEGRO F. La geotermia, fuente de Energía para el departamento de Nariño:Potencialidad, Usos y Beneficios. [en linea], 2015 .[citado el 10 Julio 2017]. <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjH5oy3f7UAhVIOiYKHZhkC4oQFggI0MAA&url=http%3A%2F%2Fwww.umariana.edu.co%2Fojs-editorial%2Findex.php> >.

PORTLAND STATE UNIVERSITY. Larderello. [en línea]<
<https://www.pdx.edu/geography/sites/www.pdx.edu.geography/files/Larderello.pdf>>
[citado en 4 de junio 2017]

PINTO,V; MANNATHAL H. Advances in Assessment of Geothermal Resources of South América En: Natural Resources. [base de datos en línea]. Vol. 60, Enel Green Power, via Andrea Pisano, 120, 56122 Rio de Janeiro (Octubre 2014);[citado en 10 de julio de 2017] Disponible en SCIENTIFIC Reseach Database

SASS, J.H; MUNROE, R.J. and MOSES Jr. Heat Flow from Eastern Panama and Northeastern Colombia. Earth and Planetary Science Letters, En: Natural Resources [base de datos en línea]. [citado en 10 de julio de 2017] Disponible en SCIENCEDIRECT Research Database

SERRANO V. Estudio de instalaciones de climatización geotérmica en viviendas. Cataluña. Trabajo de grado. Universidad Politécnica Cataluña. Facultad Náutica de Barcelona

SGC. Servicio Geológico Colombiano, Historia. [en línea]<
<http://www2.sgc.gov.co/Nosotros/Historia.aspx>> [citado 12 Julio de 2017]

UPME. Utilización de la energía geotérmica documento descriptivo. En: formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión [en línea]. No. ANC-603-21 (2003) <
http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/material_difusion/> [citado en 8 Julio de 2017]

UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA. Términos Volcánicos. [en línea]. <
<https://previa.uclm.es/profesorado/egcardenas/fuma.htm>> [citado en 4 junio 2017]

UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DE VERACRUZ Geo. [en línea]. <
http://www.universidadupav.edu.mx/documentos/BachilleratoVirtual/Contenidos_PE_UPAV/4Trimestre/FIS%202/Unidad2/contenido.html > [citado en 11 junio 2017]

