

**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRONICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



***“PROSPECCIÓN DE RECURSOS GEOTÉRMICOS EN LA
REGIÓN CUSCO Y SU APLICACIÓN EN LA GENERACIÓN
DE ENERGÍA ELÉCTRICA”***

TESIS PRESENTADO POR:

Bach. JUAN HERRERA YAÑEZ,

Bach. JUAN DE DIOS JERI FLOREZ

Para optar al título profesional de ingeniero
electricista

ASESOR:

ING. JORGE CHINCHIHUALPA GONZALES

CUSCO, FEBRERO DE 2017

RECONOCIMIENTO

AGRADECEMOS AL VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO Y AL PROGRAMA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO (PACC) POR EL APOYO BRINDADO A LA ELABORACIÓN DE LA PRESENTE TESIS

JUAN HERRERA YAÑEZ

JUAN DE DIOS JERI FLOREZ

DEDICATORIA

Dedico este trabajo al hacedor del universo por darme la oportunidad de concluir esta etapa de mi existencia.

A mis padres Raúl Martín Herrera Vargas (+), mi querida madre Balvina Yáñez de Herrera quien siempre confió en mí y me apoyó en todo lo que emprendí.

A mi esposa Vilma Yucra Paricahua juntamente que mis hijos Javier, Benazir Francis, Balvina, Jon Wilden, Raúl Rodrigo mis soportes.

Mención especial a mis padrinos don Ezequiel Álvarez Mendoza (+), Benigna Flórez artífices de mi ingreso a la gloriosa UNSAAC.

Juan Herrera Yáñez

DEDICATORIA

A mis padres Geruncio Jeri Diaz (+),
Juana Flórez Beizaga, tía Griselda
Aragón de Ugarte.

A mis hijos Jhonel Pamela Tatiana,
Iveth Valery, a Celia Chalco
Huarhua, a mi amigo Juan Herrera
Yañez y otros que me apoyaron con
mi propósito de alcanzar la meta.

Juan de Dios Jeri Florez

Agradecimiento

Los autores expresamos nuestra gratitud y aprecio, hacemos presente los importantes aportes del Ing. Jorge Chinchihualpa Gonzales quien en calidad de asesor fue parte fundamental en la elaboración del presente trabajo.

A los Ings: Mario González Vargas, Edgar Zacarías Alarcón Valdivia por sus valiosos consejos.

Al Ing. Wilber Loayza por su apoyo incondicional.

De manera especial al Dr. Edward Jesús Aguirre por su orientación en la elaboración del trabajo.

A la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, FIEEIM ,escuela profesional de Ing. "ELECTRICA".

A todos los amigos que colaboraron en la elaboración del trabajo.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene la finalidad de investigar la prospección de las fuentes geotérmicas de la región Cusco. Con fines de aprovechamiento y producción de Energía Eléctrica. Actualmente la demanda energética mundial ha crecido de manera notoria por lo tanto, es necesario diversificar las opciones de las fuentes energéticas disponibles, como es la energía geotérmica el cual ha tenido avances muy importantes, considerada como una fuente limpia, segura y continua.

Perú cubre sus necesidades de energía eléctrica con generación hidroeléctrica, termoeléctrica y gas, pero la actual coyuntura relacionado con la problemática ambiental global y lo efectos del cambio climático, el estado peruano ha dado leyes para el uso eficiente de la energía priorizando el desarrollo de fuentes no convencionales de energía la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y la mitigación del cambio climático.

En el Perú tenemos evidencias de potencial geotérmicos en zonas adyacentes a los volcanes. La presencia de la fuentes de las agua termales fumarolas podrían ser evidencias de la existencia de un recurso geotérmico. Con características adecuadas para su uso con fines térmicos y eléctricos.

La Energía Geotérmica se basa en el aprovechamiento energético del calor del subsuelo, donde, dependiendo de la temperatura de la tierra, podemos producir energía eléctrica mediante procesos de transferencia de calor. La geotermia puede constituir una buena opción energética no solo para la generación de energía eléctrica también para múltiples aplicaciones directas como calentamientos de invernaderos, balnearios piscicultura y otros.

En este trabajo de investigación se hizo un inventario y ubicación de las fuentes geotérmicas con sus respectivas características físicas y químicas en la región cusco.

En el capítulo I se describe los aspectos generales tales como, Ámbito geográfico, el problema, delimitaciones de la tesis: Temática, espacial y social, objetivos e importancia, metodología, tipo de investigación (exploratorio), nivel de investigación (exploratorio y descriptivo).

En el capítulo II se describe el marco teórico, se hacen definición de geotermia, energía geotérmica, sus usos directos e indirectos. En el capítulo III de describe la prospección y recolección de datos de las fuentes geotérmicas la región Cusco en el cual se encuentran datos bibliográficos el cual fue el punto de inicio del trabajo, por tanto se hacen las visitas de campo para obtener datos físicos, químicos cartográficos luego se hace la contrastación.

En el capítulo IV. Se hace un análisis detallado de los datos que obtienen en la investigación luego se hallan los resultados. Finalmente En el capítulo V Conclusiones, sugerencias y bibliografía.

LOS AUTORES

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “PROSPECCION DE RECURSOS GEOTERMICOS EN LA REGION CUSCO Y SU APICACION EN LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA”, tuvo como objetivo elaborar un mapa geotérmico para la generación de energía eléctrica en la región Cusco al año 2016. es de tipo básico-descriptivo, aplicativo se realizó con la población conformada por el universo total de los yacimientos existentes en la región, a quienes se aplicó la observación construida a partir de los indicadores, para apreciar los datos tanto físicos, químicos en base al cual se recopiló la información que nos sirvió de base para la identificación de resultados siendo que los espacios geotérmicos que presenta la región son variados, luego de la recolección y procesamiento de datos se contrastó la hipótesis llegando a la conclusión que los recursos geotérmicos de UPIS, PACCHANTA, MARCAPATA, de la provincia de Quispicanchis, CHOQUECANCHA de la provincia de Calca y la RAYA (UNSAAC) de la provincia de Canchis contribuyeron a la elaboración de un mapa geotérmico con fines de generación eléctrica de la Región Cusco.

Palabras clave: Prospección De Recursos Geotérmicos, Mapa Geotérmico

INDICE

Contenido

INDICE DE FIGURAS	XIV
INDICE DE TABLAS	XVI
INDICE DE GRAFICOS	XVII
MATRIZ DE CONSISTENCIA	XVIII
CAPÍTULO I	1
1. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. INTRODUCCION	2
1.2. AMBITO GEOGRAFICO	2
1.3. PROBLEMA.....	2
1.3.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	2
1.3.2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	3
1.4. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACION	4
1.4.1. DELIMITACION TEMATICA	4
1.4.2. DELIMITACION ESPACIAL	4
1.4.3. DELIMITACION SOCIAL	4
1.5. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	4
1.5.1. PROBLEMA PRINCIPAL	4
1.5.2. PREGUNTA DE INVESTIGACION	4
1.5.3. PROBLEMAS ESPECIFICOS.....	5
1.6. OBJETIVOS.....	5
1.6.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.6.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
1.7. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION	6
1.7.1. JUSTIFICACION.....	6

1.7.2.	IMPORTANCIA	6
1.8.	METODOLOGIA DE INVESTIGACION	6
1.8.1.	HIPOTESIS.....	6
1.8.2.	HIPOTESIS ESPECÍFICAS	6
1.8.3.	VARIABLES DE ESTUDIO	7
1.8.4.	INDICADORES	7
1.8.5.	TECNICAS E INSTRUMENTOS.....	7
1.8.5.1.	TECNICAS.....	7
1.8.5.2.	INSTRUMENTOS	7
1.9.	DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	8
1.9.1.	TIPO DE INVESTIGACION.....	8
1.9.2.	NIVEL DE INVESTIGACION.....	8
1.9.3.	METODOS DE MEDICION.....	8
1.9.4.	POBLACION	8
1.9.5.	RECOLECCION DE DATOS	8
CAPITULO II		10
2.	MARCO TEORICO Y SUS APLICACIONES	10
2.1.	INTRODUCCION	11
2.2.	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	11
2.3.	ENERGIA.....	12
2.3.1.	DEFINICION DE ENERGIA	12
2.3.2.	TRANSFERENCIA DE ENERGIA TERMICA.....	12
2.3.2.1.	CONDUCCION TERMICA	12
2.3.2.2.	CONVECCION TERMICA.....	13
2.3.2.3.	RADIACION TERMICA.....	14
2.4.	GEOTERMIA	15
2.4.1.	DEFINICION	15

2.4.2.	EL FLUJO DE CALOR TERRESTE	17
2.4.3.	ENERGIA GEOTERMICA.....	18
2.4.3.1.	DEFINICION	18
2.4.3.2.	HISTORIA DE LA ENERGIA GEOTERMICA.....	20
2.4.4.	RECURSOS GEOTERMICOS	23
2.4.4.1.	DEFINICION Y TIPOS DE RECURSOS GEOTERMICOS	23
2.4.5.	YACIMIENTOS GEOTERMICOS	25
2.4.5.1.	YACIMIENTOS DE MUY BAJA TEMPERATURA	25
2.4.5.2.	YACIMIENTOS DE BAJA TEMPERATURA	26
2.4.5.3.	YACIMIENTOS DE MEDIA TEMPERATURA	27
2.4.5.4.	YACIMIENTOS DE ALTA TEMPERATURA	27
2.4.6.	MODELO GEOTERMICO CONCEPTUAL.....	29
2.5.	APLICACIONES DE ENERGIA GEOTERMICA	31
2.5.1.	UTILIZACION DIRECTA DEL CALOR GEOTERMICO	31
2.5.1.1.	LAS BOMBAS DE CALOR.....	32
2.5.1.2.	BALNEOLOGIA	33
2.5.1.3.	CALEFACCION DE EDIFICIOS.....	34
2.5.1.4.	CALEFACCION DE INVERNADEROS	35
2.5.1.5.	AGRICULTURA Y CRIANZA DE ANIMALES	36
2.5.1.6.	SECADO DE ALIMENTOS Y MADERAS	37
2.6.	UTILIZACION INDIRECTA DEL CALOR GEOTERMICO.....	38
2.6.1.	PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA	38
2.6.2.	GENERACION ELECTRICA.....	40
2.6.2.1.	CICLO CON UNIDADES DE CONTRAPRESION	41
2.6.2.2.	CICLO CON UNIDADES DE CONDENSACION	41
2.6.2.3.	CICLO BINARIO	42
2.7.	TIPOS DE PLANTAS	43

2.7.1.	PLANTAS TIPO VAPOR DIRECTO (DIRECT STEAM).....	43
2.7.2.	PLANTAS TIPO “FLASH-STEAM”	44
2.7.3.	PLANTAS TIPO “DOUBLE FLASH PLANTS”	45
2.7.4.	PLANTAS TIPO BINARIO (BINARY PLANTS)	46
2.7.5.	PLANTAS COMBINADAS O HÍBRIDAS	47
2.7.6.	FACTORES ECONOMICOS DE LAS PLANTAS GEOTERMICAS	50
CAPITULO III		52
3.	PROSPECCION Y RECOLECCION DE DATOS.....	52
3.1.	INTRODUCCION	53
3.2.	FASES DE LA RECOLECCION DE DATOS	53
3.2.1.	INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA	53
3.2.2.	INFORMACION ORAL.....	55
3.2.3.	SELECCIÓN DE LOGISTICAS PARA VISITAS	55
3.2.4.	DEFINICION DE MUESTRA DE INVESTIGACION.....	59
3.2.5.	PLAN DE VISITAS.....	59
3.3.	ORGANIZACIÓN DE DATOS	61
3.3.1.	SELECCIÓN DE YACIMIENTOS DE ACUERDO A SU ENTALPIA EN LA REGION DE CUSCO.....	66
3.3.1.1.	YACIMIENTOS DE MUY BAJA ENTALPIA	66
3.3.1.2.	YACIMIENTOS DE BAJA ENTALPIA.....	68
3.3.1.3.	YACIMIENTOS DE MEDIA TEMPERATURA	70
3.4.	MAPA GEOTERMICO DE LA REGION CUSCO	71
3.5.	CUADRO DE YACIMIENTOS GEOTERMICOS DE LA REGION CUSCO	73
CAPITULO IV		79
4.	ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS.....	79
4.1.	GENERALIDADES	80
4.2.	ANAILISIS DE DATOS.....	81

4.3.	PROVINCIAS VISITADAS	82
4.4.	YACIMIENTOS GEOTERMALES VERIFICADOS	82
4.5.	YACIMIENTOS NO UBICADOS	84
4.5.1.	CASO DE SUYKUTAMBO	84
4.5.2.	CASO DE SANTA TERESA.....	85
4.6.	ALTITUD DE LOS YACIMIENTOS	85
4.7.	PROPIETARIOS DE LOS RECURSOS GEOTERMICOS	86
4.8.	TIPO DEL AGUA	87
4.9.	pH del agua.....	89
4.10.	TEMPERATURA SUPERFICIAL	90
4.11.	VALIDACION DE LAS VARIABLES.....	91
4.11.1.	PRIMERA VARIABLE	91
4.11.2.	SEGUNDA VARIABLE.....	91
CAPITULO V		93
5.	CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.....	93
5.1.	CONCLUSIONES	94
5.2.	SUGERENCIAS.....	96
Bibliografía		97
ANEXOS		99

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa político del departamento del Cusco	2
Figura 2: Flujoograma de recolección de datos – Investigación Geotérmica	9
Figura 3: Conducción térmica.....	13
Figura 4: Convección del aire en un hornillo	13
Figura 5: Radiación térmica.....	14
Figura 6: Estructura interna de la Tierra	15
Figura 7: Acuíferos en zonas calientes	19
Figura 8: Fuente termal – Lares - Calca	21
Figura 9: Primera instalación de generación de energía eléctrica de origen geotérmico en Larderello (Italia), en 1904.....	22
Figura 10: Campo geotérmico de Larderello	22
Figura 11: La radiación solar y las condiciones climáticas influyen sobre la temperatura del subsuelo solo hasta una cierta profundidad	26
Figura 12: Placas litosféricas.....	29
Figura 13: Aplicaciones de la geotermia	31
Figura 14: Distribución de la utilización del calor geotérmico en el mundo (TJANO), en 2010	32
Figura 15: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor	33
Figura 16: Balneario comunal – Allica Victoria - Chumbivilcas.....	34
Figura 17: Agua geotérmica bombeada desde dos pozos de alimentación a la planta de intercambio de calor	35
Figura 18: Invernadero de 6Ha. De superficie a cristalizada con calefacción geotérmica en Nueva Zelanda	36
Figura 19: Criadero piscícola climatizado con energía geotérmica en Imperial Valley, California, EE.UU.....	37
Figura 20: Temperatura en función a la profundidad y presión	38
Figura 21: Grupo Turboalternador.....	39
Figura 21: Esquema conceptual de una planta de conversión directa	43
Figura 22: Esquema conceptual de un sistema de expansión súbita de una etapa	45
Figura 23: Esquema conceptual de un sistema de expansión súbita de dos etapas	46
Figura 24: Esquema conceptual de un sistema de ciclo binario.....	47

Figura 25: Condensador de placas	49
Figura 26: Turbina de vapor de una instalación geotermica.....	50
Figura 27: Pirómetro.....	56
Figura 28: Termómetro digital	57
Figura 29: AlpineQuest – Aplicación para Android	57
Figura 30: Movilidad utilizado para las visitas	58
Figura 31: Muestra de agua en botella.....	58
Figura 32: Cascos de seguridad.....	58
Figura 33: Camara fotográfica - SONY	59
Figura 34: Recopilación de datos	59
Figura 35: Ficha de entrevistas	65
Figura 36: Informe de análisis químicos.....	66
Figura 37: Mapa geotérmico de la región Cusco de muy baja entalpia	71
Figura 38: Mapa geotérmico de la región Cusco de baja entalpia.....	72
Figura 39: Mapa geotérmicos de la región Cusco de media entalpia.....	72
Figura 40: Mapa geotérmico de la región Cusco.....	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales países que hacen uso directo de la energía geotérmica..	33
Tabla 2: Yacimientos termales de la región del cusco según INGEMMET	54
Tabla 3: Yacimientos termales según DIRCETUR	54
Tabla 4: Yacimientos ubicados por información oral	55
Tabla 5: Especificaciones técnicas del Pirómetro.	55
Tabla 6: Especificaciones técnicas del Termómetro	56
Tabla 7: PLAN DE VISITAS	60
Tabla 8: Aguas termales Choquecancha	61
Tabla 9: Aguas Termales Upis	62
Tabla 10: Aguas Termales Marcapata	63
Tabla 11: Aguas Termales La Raya (UNSAAC)	64
Tabla 9: Yacimientos de muy baja entalpia	67
Tabla 10: Yacimientos de baja entalpia.....	68
Tabla 11: Yacimientos de media temperatura	70
Tabla 12: Operacionalizacion de las variables	80
Tabla 13: Yacimientos - INGEMMET	82
Tabla 14: Yacimientos Visitados	83
Tabla 15: Propietarios de los Yacimientos	86
Tabla 16: Resumen de Propietarios de Yacimientos.....	86
Tabla 17: Cantidad por tipo de agua	88

INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1: Potencia de centrales de ciclo binario en función de flujo de agua y su temperatura	48
Grafico 2: Temperatura de las fuentes de muy baja entalpia	67
Grafico 3: pH de las fuentes de muy baja entalpia	68
Grafico 4: Temperatura de las fuentes de baja entalpia	69
Grafico 5: pH de las fuentes de baja entalpia	69
Grafico 6: Temperaturas de las fuentes de media entalpia	70
Grafico 7: pH de las fuentes de media entalpia	71
Grafico 8: Visitas a Provincias	82
Grafico 9: Altitud de yacimientos	86
Grafico 10: Propietarios en Porcentajes	87
Grafico 11: Tipos de agua en Porcentajes	88
Grafico 12: pH del agua	89
Grafico 13: Temperatura superficial en °C	90
Grafico 14: Potencia Neta VS Flujo de Agua.....	92

MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA	HIPOTESIS Y OBJETIVOS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
<p>PROBLEMA PRINCIPAL En la Región Cusco existe un gran desconocimiento de sus recursos geotérmicos, usos y requerimientos energéticos. Existe claras deficiencias de un planteamiento de calefacción y similares.</p>	<p>HIPÓTESIS PRINCIPAL La prospección de los recursos geotérmicos permite elaborar el mapa geotérmico para la generación de energía eléctrica en la región Cusco.</p>	<p>La prospección de los recursos geotérmicos</p> <p>Potencial Energético</p>	<p>Ubicación Puntos de afloramiento</p> <p>Tipo de Agua pH Temperatura</p>	<p>Visita, GPS. - Fotos, videos. Ficha Técnica.</p> <p>Pirómetro Termómetro Análisis de Laboratorio Tablas Visitas, Fichas, Fotos y Encuestas.</p>
<p>PREGUNTA DE INVESTIGACION ¿De qué manera la prospección de recursos geotérmicos permite la elaboración del mapa geotérmico para la generación de energía eléctrica al año 2016?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p>	<p>Determinar de qué manera la prospección de recursos geotérmicos permita la elaboración del mapa geotérmico para la generación de energía eléctrica en la región Cusco al año 2016.</p>	<p>1. Identificar los yacimientos geotérmicos de la región Cusco. 2. Determinar el nivel de temperatura del Fluido de los Yacimiento geotérmicos de la Región Cusco al año 2016. 3. Identificar el nivel de la ubicación geográfica de los yacimientos geotérmicos de la Región Cusco al año 2016. 4. Medir y Determinar el nivel de pH y tipo de agua que presentan los yacimientos geotérmicos de la Región Cusco al año 2016. 5. Elaborar un mapa de ubicación de los yacimientos geotérmicos de la Región Cusco al año 2016. 6. Analizar y Establecer el nivel de potencia eléctrico de los yacimiento geotérmicos de la Región Cusco al año 2016</p>	<p>CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS</p>

CAPÍTULO I

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCION

En este capítulo se describe los aspectos generales de la tesis como son: el problema, justificación, los objetivos, las variables, las hipótesis y la metodología a utilizar.

1.2. AMBITO GEOGRAFICO

El estudio de los yacimientos geotérmicos abarca toda la región del cusco, que se encuentra en la parte sur oriental del territorio peruano; cuenta con una superficie de 71,987 Km² alberga según proyecciones del INEI al 2016, una población de 1'236,729 habitantes. Políticamente y administrativamente, está dividido en 13 provincias y 111 distritos. Ver figura N° 1

Figura 1: Mapa político del departamento del Cusco



FUENTE: Promoregiones.com

1.3. PROBLEMA

1.3.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

La primera máquina que generó energía eléctrica, alimentada por vapor geotérmico fue instalada en Larderello (Italia) en 1904, por el Príncipe Piero Ginoni Conti y tenía una potencia de 10 kW. Fue Italia el único país que explotó este recurso por más de 50 años, en 1913 se instala una central de 250 KW y en 1950 tenía ya 350000 KW instalados.

Al finalizar esta década se incorporan a la producción Nueva Zelandia, Estados Unidos y Japón. Durante la década del 60 lo hacen Unión Soviética, Islandia, China, México, Turquía, El Salvador, Filipinas, Indonesia, Portugal y en la década del 80, Kenia, Nicaragua, Guadalupe, Grecia y Argentina.

El aumento de la potencia instalada entre 1922 y 1978 fue de un 7-8 % anual. En 1973 sobreviene la crisis del petróleo, y las formas alternativas para obtener energía adquieren importancia; la geotermia se revaloriza y cinco años más tarde se concretan los nuevos proyectos. El impulso adquirido en aquella época aún se mantiene.

Esta crisis energética persuade a los gobiernos que es conveniente la diversificación de las fuentes de energía con el fin de no quedar tan fuertemente ligados a las oscilaciones del precio internacional del petróleo.

Se desarrolla tecnología, metodología de exploración, ingeniería de plantas y de reservorio y se valora su escaso impacto ambiental.

Además se llega a la conclusión de que es un muy buen complemento de la energía hidroeléctrica, al utilizar esta última como energía de punta y la geotermia como energía de base¹.

1.3.2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Actualmente existe un desconocimiento en el tema de recursos geotérmicos, así como un desinterés en la difusión por parte de las autoridades responsables del manejo de dicho recurso en el Perú, especialmente en la Región Cusco.

En la cumbre de la Organización de las Naciones Unidas, desarrollado en Rio de Janeiro, se acordó crear un Ministerio del Ambiente en todos los países del mundo y generar electricidad mediante Energías Renovables.

Desde tiempos prehispánicos, en el Perú se le dio a la geotermia un uso balneoterápico, siendo mundialmente conocido, los Baños del Inca en Cajamarca.

En el Perú nos falta trabajar en Energías Renovables y los recursos geotérmicos sólo son considerados en concesiones temporales para estudios.

¹ Descripción efectuada a base a la texto hallado en docplayer.es

La intención gubernamental no considera el uso de la Energía geotérmica en su gestión. A diferencia de otros países, en nuestro país todavía no se utiliza potencial Geotérmico para la generación de energía eléctrica.

En la Región Cusco hay una amplia cantidad de fuentes hidrotermales, conocida también como “fuentes de aguas calientes”, cuyo uso principal es para el esparcimiento de la sociedad y visitantes. Por lo que existe conocimiento parcial y sectorizado de los recursos geotérmicos, con destino recreativo y turístico.

1.4. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

1.4.1. DELIMITACION TEMATICA

Esta Tesis se orienta en el área de la generación de energía eléctrica mediante energías renovables de acuerdo a lo establecido en las Cumbres de Cambio Climático de la Organización de las Naciones Unidas.

1.4.2. DELIMITACION ESPACIAL

La delimitación espacial de la presente investigación, se encuentra en el ámbito de la Región Cusco.

1.4.3. DELIMITACION SOCIAL

La delimitación social, está enfocada sobre todo al ámbito rural, porque las fuentes de aguas termales en nuestra región, generalmente se encuentran ubicadas en comunidades rurales.

1.5. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.5.1. PROBLEMA PRINCIPAL

En la Región Cusco existe un gran desconocimiento de sus recursos geotérmicos, usos y requerimientos energéticos.

Existe claras deficiencias de un planteamiento de calefacción y similares.

1.5.2. PREGUNTA DE INVESTIGACION

¿De qué manera la prospección de recursos geotérmicos permite la elaboración del mapa geotérmico para la generación de energía eléctrica al año 2016?

1.5.3. PROBLEMAS ESPECIFICOS

1. ¿Cuáles son los yacimientos geotérmicos con la que cuenta la región Cusco al año 2016?
2. ¿Cuál es el nivel de temperatura que presentan los yacimientos geotérmicos en la región Cusco al año 2016?
3. ¿A qué nivel de ubicación geográfica se halla los yacimientos geotérmicos en la región Cusco al año 2016?
4. ¿Cuál es el nivel de pH, y el tipo de agua que muestran los yacimientos geotérmicos de la región Cusco al año 2016?
5. ¿Cuenta la región Cusco con un mapa de yacimientos geotérmicos al año 2016?
6. ¿Cuál es el nivel de potencial eléctrico de los yacimientos geotérmicos de la región Cusco al año 2016?

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar de qué manera la prospección de recursos geotérmicos permita la elaboración del mapa geotérmico para la generación de energía eléctrica en la región Cusco al año 2016.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Identificar los yacimientos geotérmicos de la región Cusco.
2. Determinar el nivel de temperatura del Fluido de los Yacimiento geotérmicos de la Región Cusco al año 2016.
3. Identificar el nivel de la ubicación geográfica de los yacimientos geotérmicos de la Región Cusco al año 2016
4. Medir y determinar el nivel de pH y tipo de agua que presentan los yacimientos geotérmicos de la Región Cusco al año 2016.
5. Elaborar un mapa de ubicación de los yacimientos geotérmicos de la Región Cusco al año 2016.
6. Analizar y establecer el nivel de potencia eléctrico de los yacimiento geotérmicos de la Región Cusco al año 2016

1.7. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION

1.7.1. JUSTIFICACION

La presente investigación se justifica, porque en nuestra región existen muchas fuentes de aguas termales, que reciben una utilización primaria consistente solo en la creación de balnearios para el esparcimiento de las personas locales y turistas nacionales y extranjeros.

Sin embargo, como ya se explicó anteriormente, existe una amplia gama de aplicaciones de la energía térmica cuya manifestación principal es la existencia de fuentes de aguas termales. En esta investigación, abordamos el estudio del potencial de aprovechamiento de dichas fuentes hidrotermales, para la generación de energía eléctrica.

1.7.2. IMPORTANCIA

La importancia de la presente investigación lo constituye el enfoque innovador con el que se está desarrollando. Pues no existe en nuestro país muchos trabajos al respecto.

Esta investigación es importante, porque una de las aplicaciones principales de la generación de energía eléctrica utilizando las fuentes termales, podría beneficiar directamente a las comunidades aledañas a las fuentes de aguas termales, con la instalación de pequeñas centrales geo termoeléctricas.

Otro aspecto que es necesario mencionar es el friaje en las provincias altas que presentan riesgo para infantes como para sus animales, motivo por el cual es necesario estudiar el recurso geotérmico como medida de protección.

1.8. METODOLOGIA DE INVESTIGACION

1.8.1. HIPOTESIS

La prospección de los recursos geotérmicos permite elaborar el mapa geotérmico para la generación de energía eléctrica en la región Cusco.

1.8.2. HIPOTESIS ESPECÍFICAS

1. La región Cusco posee una gran cantidad de yacimientos geotérmicos con potencial de generación de energía eléctrica.
2. El nivel de temperatura del fluido de yacimientos geotérmicos es variado en la región Cusco.

3. La ubicación geográfica de los yacimientos geotérmicos es variado en la región Cusco.
4. El nivel pH y el tipo de agua es variado en los yacimientos geotérmicos en la región Cusco.
5. La ubicación de los yacimientos geotérmicos permite elaborar el mapa geotérmico en la región Cusco.
6. Los yacimientos geotérmicos presentan niveles variados de potencial eléctrico en la región Cusco.

1.8.3. VARIABLES DE ESTUDIO

El reconocimiento, exploración o registro de los recursos geotérmicos permitirá identificarlos y conocer su potencial para optimizar sus usos y requerimientos energéticos a favor del poblador cusqueño.

V1.- La prospección de los recursos geotérmicos

V2.- Potencial Energético

1.8.4. INDICADORES

Como indicadores de nuestras variables tenemos: Ubicación, Puntos de afloramiento, Tipo de agua PH, Temperatura.

1.8.5. TECNICAS E INSTRUMENTOS

1.8.5.1. TECNICAS

- Observación
- Registro de campo
- Encuesta
- Análisis de documentos

1.8.5.2. INSTRUMENTOS

- Cuestionario
- Laboratorio
- Registro de Muestras
- Cámara Fotográfica
- Lecturas de termómetro, pirómetro y GPS.

1.9. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

1.9.1. TIPO DE INVESTIGACION

En cuanto se recogen y analizan los datos la investigación es de tipo cuantitativo sobre los yacimientos geotérmicos ubicados en los diferentes lugares de la región Cusco, a los cuales se realizan diferentes mediciones con normas estandarizadas a través de la recolección de muestras de cada una de ellas y con el cual se elabora el mapa geotérmico.

1.9.2. NIVEL DE INVESTIGACION

La presente investigación en primer momento es exploratoria en cuanto se ubica los diferentes yacimientos, siendo el problema de investigación nuevo y por primera vez se recopilan los datos; en segundo momento es descriptivo en cuanto se recopila los datos y precisa la ubicación geográfica del objeto de investigación para conocer los distintos niveles de temperatura y pH, considerando los objetivos de investigación de modo cuidadoso, a partir de ellos se analizan minuciosamente los resultados a fin de extraer las conclusiones.

1.9.3. METODOS DE MEDICION

- Visitas de campo
- Reconocimiento de fuentes termales
- Impacto de fuentes termales
- Impacto del friaje de acuerdo a la temperatura del medio ambiente

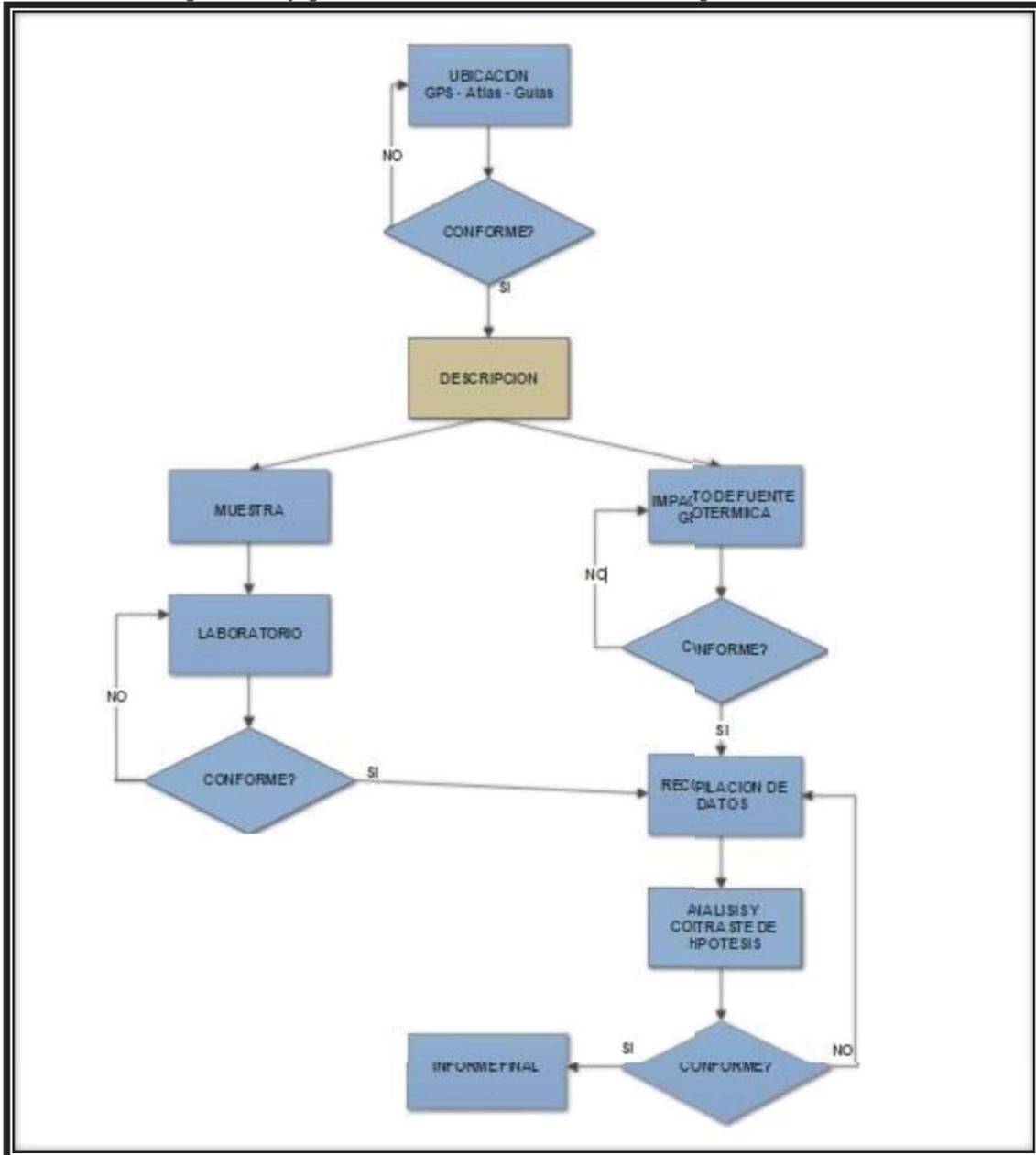
1.9.4. POBLACION

La población para la presente investigación está constituida por todas las fuentes de aguas termales identificadas en la región Cusco.

1.9.5. RECOLECCION DE DATOS

- Datos de ubicación de cada fuente
- Se recibe datos de laboratorio químico sobre PH y tipo de agua
- Se valida en Excel datos de temperatura de la fuente
- Fotografías de cada caso
- Entrevistas de cada caso

Figura 2: Flujograma de recolección de datos – Investigación Geotérmica



FUENTE: Elaboración propia

CAPITULO II
2. MARCO TEORICO Y SUS APLICACIONES

2.1. INTRODUCCION

En este capítulo se desarrolla los conceptos básicos de la electricidad mediante la geotermia, la termodinámica, geología etc.

2.2. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Para el siguiente estudio se tomó en cuenta como antecedente los siguientes estudios:

a) GUILLERMO LLOPIS TRILLO Y VICENTE RODRIGO ANGULO (2012).

Guía de la energía geotérmica. Tesis post grado. Universidad de Madrid, España.

- En este trabajo de tesis de la energía geotérmica se enmarca dentro de una de las líneas estratégicas e innovadoras por la que la comunidad de Madrid apuesta, de manera firme y decidida, para garantizar un abastecimiento y un consumo sostenible de la energía necesaria para su desarrollo².

b) *Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energía alternativas y difusión (2013).* Unión Temporal ICONTEC – AENE (BOGOTA)

- El objetivo principal de esta guía es proveer información técnica que permita dar una inducción al público en general sobre el uso de la energía geotérmica³.

c) JUAN ALBERTO SALMERON VERGARA. *Técnicas para el aprovechamiento del remanente energético de yacimientos geotérmicos.* Tesis de post grado. Universidad Nacional Autónoma de México (2010).

- Este trabajo de tesis el objetivo principal consiste en analizar el sistema de Power Tube que consiste en un sistema de generación de Ciclo Rankine Orgánico, usando una mezcla de isopentano/isobutano como fluido de trabajo. La parte medular de este sistema es que emplea la energía térmica de la roca seca del subsuelo para hacer funcionar el ciclo, con la que se realizará la transferencia de calor de la roca seca al ciclo de trabajo del Power Tube mediante una serie de intercambiadores de calor,

² Tomado de pt .scribd.com

³ Tomado de www.upme.gov.co

para evaporar el fluido de trabajo y con esto, accionar un generador acoplado a la turbina.

El siguiente análisis consiste en calcular la energía eléctrica máxima que puede generar el sistema, evaluando la transferencia de calor entre el yacimiento y el Power Tube.

2.3. ENERGIA

2.3.1. DEFINICION DE ENERGIA

La energía es una magnitud física con la capacidad de producir variación en el estado o movimiento de la materia, mediante los procesos de calor o trabajo respectivamente, esta no se crea ni se destruye sino que se transforma y se transmite en un medio material o en el vacío absoluto. Cabe resaltar que el trabajo no es una forma de energía, es el proceso para transformarla, transmitirla o intercambiarla, de igual manera que el calor es el proceso para transmitirla cuando existe una diferencia de temperatura entre sistemas multiparticulados interactuantes.

La energía se manifiesta bajo diversas formas las cuales para el caso podríamos llamarlas: energía calorífica, electromagnética, eléctrica, nuclear, mecánica, química, entre otras formas. Existen también diferentes clases de trabajo, tales como mecánico y eléctrico.

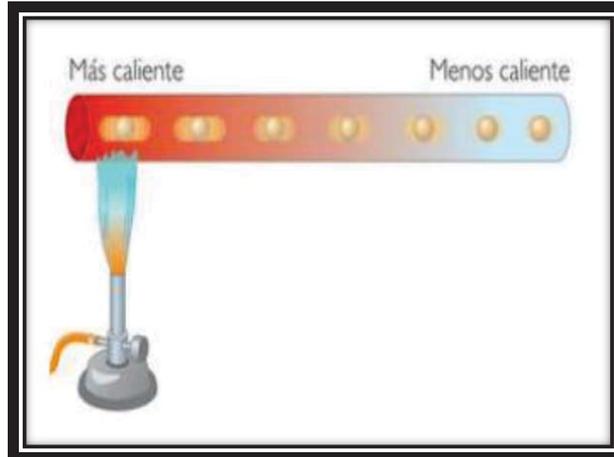
2.3.2. TRANSFERENCIA DE ENERGIA TERMICA

Los cuerpos no poseen calor, sino energía interna, el mecanismo de transferencia de energía (Calor) entre dos cuerpos a distinta temperatura se da por conducción, convección y radiación.

2.3.2.1. CONDUCCION TERMICA

Este mecanismo de transferencia de energía térmica, requiere de contacto directo de las moléculas del cuerpo o de los cuerpos en contacto para transmitirla.

Figura 3: Conducción térmica



FUENTE: <http://jfinternational.com/mf/termodinamica.html>

Al calentar un cuerpo sus partículas vibrarán con mayor frecuencia, chocando con la vecina inmediata, está también vibrando repitiéndose el proceso con la partícula que se encuentre a continuación de esta, hasta llegar al equilibrio térmico, aquí no existirá movimiento macroscópico de la materia de los cuerpos en contacto y es característico de los cuerpos en estado sólidos.

2.3.2.2. CONVECCION TERMICA

La convección térmica, propia de los fluidos requiere del contacto directo entre partículas, al igual que en la conducción, pero se diferencia de esta debido a que si una partícula vibra a mayor frecuencia no necesariamente transferirá toda su energía a la partícula inmediata siguiente, sino que viajará a través del fluido chocando repetidamente con otras partículas, cediendo parte de esta energía en cada choque.

Figura 4: Convección del aire en un hornillo



FUENTE: <http://nea.educastur.princast.es/htm>

Los fluidos al calentarse aumentan su volumen, por lo que la densidad disminuye, aquellas partículas con más energía ascenderán haciendo desplazar hacia el fondo del recipiente aquellas de menor temperatura existiendo movimiento visible de la materia.

2.3.2.3. RADIACION TERMICA

La radiación electromagnética que se produce a causa del movimiento térmico de los átomos y moléculas de la sustancia se denomina radiación térmica o de temperatura. La radiación térmica se origina a costa de la energía interna del cuerpo. El espectro de la radiación térmica es continuo y contiene longitudes de onda que pueden variar desde la longitud de onda de los rayos X hasta la longitud de onda que se capta por los radios comunes. La distribución de energía en el espectro de radiación térmica depende de la temperatura del cuerpo que la emite.

Figura 5: Radiación térmica



Fuente:<http://www.ucm.es/info/hcontemp/leoc/revolucion%20cientifica.htm>

A temperaturas bajas (alrededor de 300°C) predomina la radiación infrarroja de longitudes de onda entre 800 y 4000nm aproximadamente que es invisible para el ojo humano. A temperaturas altas (más de 800°C) en el espectro aparecen longitudes de onda más cortas (400 –800nm) que corresponden a la parte visible y ultravioleta del espectro⁴.

⁴ <http://legacy.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/ask/radiation.html>

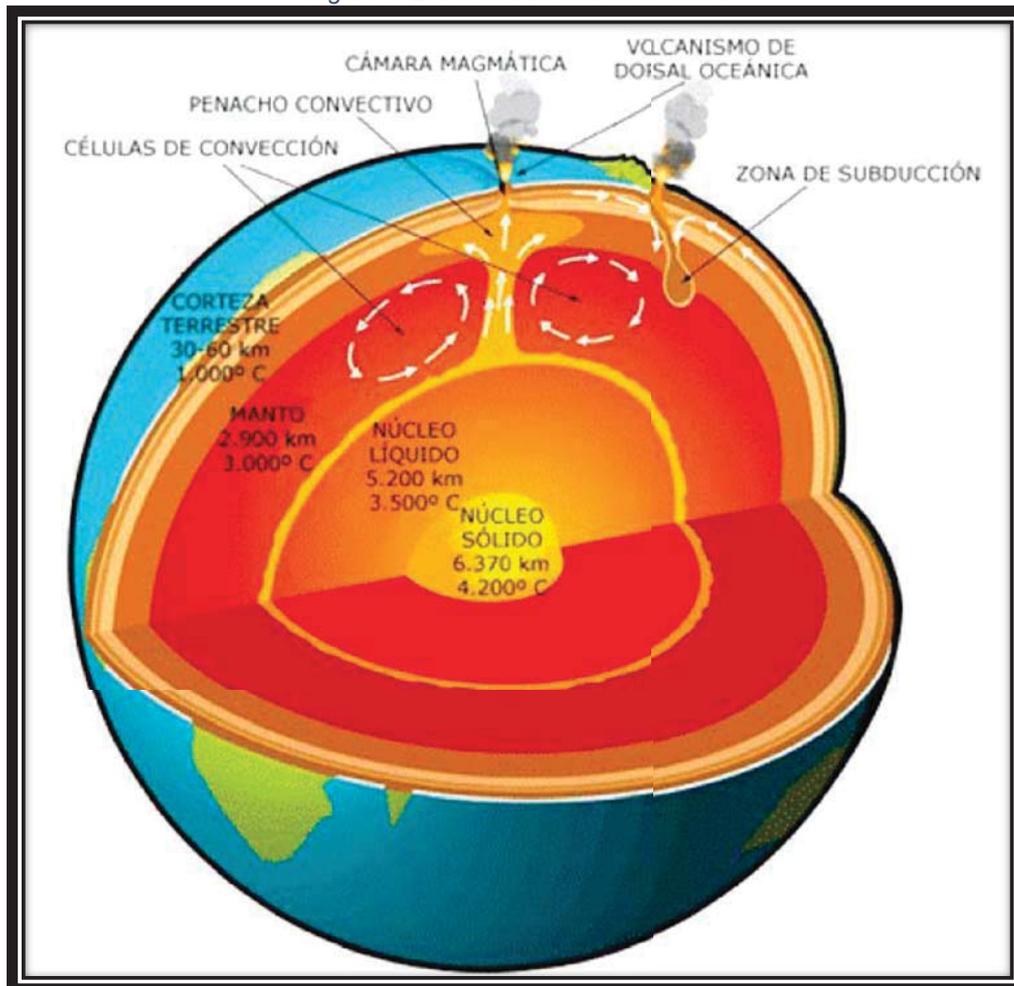
A la temperatura de 800°C, el cuerpo emite suficiente energía y parece rojo. Y la de 3000°C, la energía radiante contiene muchas ondas de longitud de onda más corta y el cuerpo parece prácticamente blanco⁵.

2.4. GEOTERMIA

2.4.1. DEFINICION

Geotermia es una palabra de origen griego, deriva de “geosll” que quiere decir tierra, y de “thermos” que significa calor: el calor de la Tierra. Se emplea indistintamente para designar tanto a la ciencia que estudia los fenómenos térmicos internos del planeta, como al conjunto de procesos industriales que intentan explotar ese calor para producir energía eléctrica y/o calor útil al ser humano.

Figura 6: Estructura interna de la Tierra



⁵ Llopis Trillo Guillermo, y otros: Guía de la Energía Geotérmica. Dirección General de Industria energía y minas. Comunidad de Madrid. <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-la-energia-geotermica.pdf> dspace.esPOCH.edu.ec Resumen efectuada del documento hallado en dspace.esPOCH.edu.ec

Entre las fuentes renovables, la energía geotérmica es la que ha demostrado con mayor seguridad factibilidad técnica y económica. Los recursos geotérmicos constituyen la energía derivada del calor que se extrae del subsuelo a través de los fluidos geotérmicos que surgen de procesos naturales o artificiales.

Desde el centro hasta la superficie, el globo terrestre está constituido por tres capas sucesivas de temperatura decreciente:

- a. El núcleo, sólido en su parte interna y líquido en su parte exterior. Su temperatura puede alcanzar los 4.200 °C.
- b. El manto que lo envuelve, con temperaturas que van desde los 3.000 °C a 1.000 °C. de textura plástica hacia el centro, se vuelve sólido hacia la superficie.
- c. La corteza, que corresponde a la envoltura superficial. Su temperatura varía desde los 1.000 °C en su contacto con el manto, hasta los 15-20 °C de la superficie terrestre. Su espesor varía desde 5 a 20 km en las profundidades oceánicas, y desde 30 a 70 km bajo los continentes. Con la parte sólida del manto constituye la litosfera, fragmentada en varias placas litosféricas que se desplazan lentamente, unas con relación a otras, pudiendo dar lugar a importantes anomalías térmicas en sus bordes.

El resultado de esta estructura interna es que el 99% de la masa de la Tierra está sometida a una temperatura superior a los 1.000 °C, y únicamente un 0,1% de la misma soporta temperaturas inferiores a los 100 °C.

Los orígenes del calor interno de la Tierra se encuentran en los siguientes hechos:

- a. Desintegración de isótopos radiactivos presentes en la corteza y en el manto, principalmente, uranio 235, uranio 238, torio 232 y potasio 40.

- b. Calor inicial que se liberó durante la formación del planeta hace 4.500 millones de años, y que todavía está llegando a la superficie.
- c. Movimientos diferenciales entre las diferentes capas que constituyen la Tierra, principalmente entre manto y núcleo.
- d. Cristalización del núcleo. El núcleo externo (líquido) se está cristalizando continuamente, y en la zona de transición con el núcleo interno (sólido) se libera calor⁶.

2.4.2. EL FLUJO DE CALOR TERRESTE

La energía térmica que se origina en el interior de la corteza del planeta, la misma que asciende lentamente hacia la superficie, debido a que las rocas de la corteza terrestre tienen una muy baja conductividad térmica. El flujo de calor se calcula multiplicando el gradiente geotérmico por la conductividad térmica de las rocas.

- a. **Gradiente geotérmico:** Es la variación de temperatura en función de la profundidad, expresado en °C/km.
- b. **Conductividad térmica:** Es la capacidad que tiene un material para conducir el calor, ésta es una propiedad característica de cada material y se expresa en W/m· °C. También se lo expresa en J/(s·°C·m).
- c. **Flujo de energía:** El producto de estas dos cantidades nos proporciona el flujo de energía, en forma de calor, por unidad de superficie y por unidad de tiempo y se expresa en W/m²

La ecuación de conducción de calor viene dada por:

$$q = K_T \left(\frac{\Delta T}{z} \right)$$

Dónde:

- q (W/m²)** Es el flujo de calor por metro cuadrado que fluye verticalmente a través de la Tierra.
- ΔT** Es la diferencia de temperatura a la distancia vertical z, y
- ΔT/z** Es el gradiente térmico (°C/Km.).

⁶ Descripciones teóricas halladas en www.cuantaciencia.com

K_T Es la conductividad térmica del terreno (en W/m°C) y es igual al flujo de calor por segundo que atraviesa un área de 1 metro cuadrado cuando el gradiente térmico es de 1°C por metro en la dirección del flujo

El gradiente geotérmico de la corteza terrestre tiene un valor medio de 3,3°C cada 100m, y se mide en sondeos mineros o petrolíferos con la ayuda de sondas térmicas.

La conductividad térmica se puede medir en el laboratorio analizando muestras de testigos de las formaciones geológicas.

El flujo de calor terrestre es del orden de 60 mW/m², se pueden medir valores de varias centenas de mW/m² en determinadas regiones con mayor gradiente geotérmico, en lugares incluso puede alcanzar varios millares de mW/m².

2.4.3. ENERGIA GEOTERMICA

En la actualidad las reservas de combustibles fósiles como el petróleo están en vía de agotamiento, entonces es preciso desarrollar nuevas técnicas de producción de una energía duradera y exenta de emisiones contaminantes, la cual se encuentra justo debajo de nuestros pies: el calor de la Tierra.

La energía geotérmica se muestra como una de las energías más prometedoras y suscita un interés creciente en el conjunto de las estrategias que promueven la explotación de fuentes de energía versátil y renovable.

2.4.3.1. DEFINICION

Energía geotérmica es la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la Tierra.

Esta definición es oficial en Alemania (VDI 4640) y ha sido adoptada por el Consejo Europeo de Energía Geotérmica (EGEC). Engloba el calor almacenado en rocas, suelos y aguas subterráneas, cualquiera que sea su temperatura, profundidad y procedencia.

Existen varias zonas de la superficie del planeta que presentan anomalías geotérmicas, que se originan por la ascensión, en ciertas condiciones, de parte

de material fundido de las profundidades y que queda atrapado en espacios próximos a la superficie.

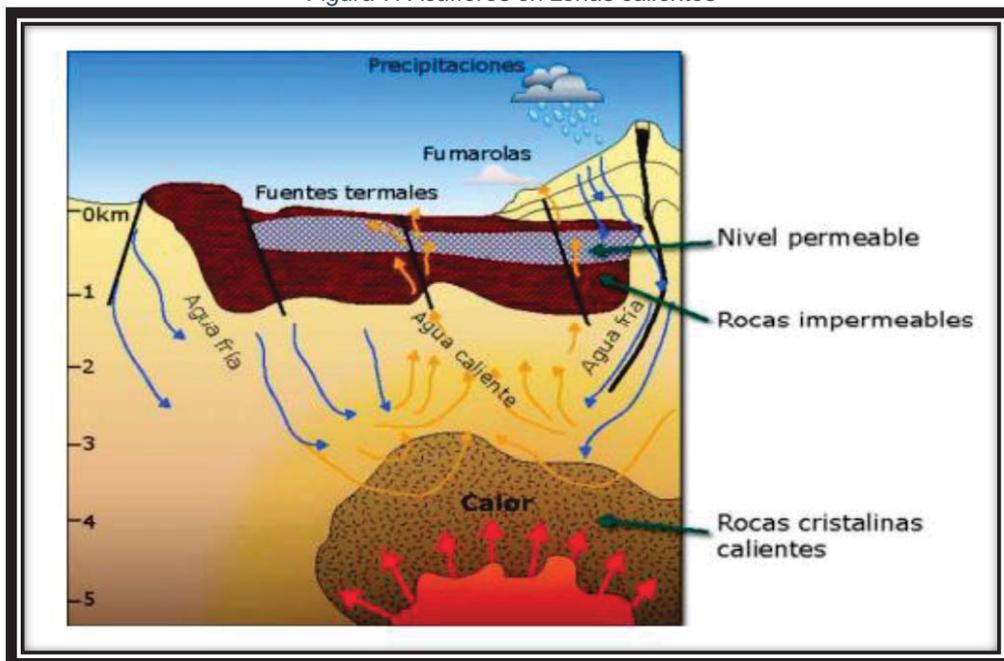
En estas zonas se dice que existen yacimientos geotérmicos, los cuales, a veces, se manifiestan en la superficie en forma de emanaciones gaseosas, aguas termales o erupciones volcánicas.

Cuando el calor almacenado en los yacimientos geotérmicos se encuentra a profundidades razonables para poder extraerlo, con la tecnología existente, es posible aprovecharlo energéticamente.

Para poder extraer esta energía es necesaria la presencia de agua cerca de estas zonas calientes. La explotación de esta fuente de energía se realiza perforando el suelo y extrayendo el agua, su vapor, o una mezcla de ambos, que sirven de vehículo de transporte.

Parte del agua que fluye por la superficie de la tierra (producto de lluvia, de deshielo, de cursos de agua, etc.), se infiltra en el terreno y, a través de grietas y fracturas, puede alcanzar profundidades de varios cientos o hasta miles de metros.

Figura 7: Acuíferos en zonas calientes



FUENTE: <http://galeon.com/udlaprodu2/energias/geotermica1.pdf>

El agua, al encontrar en profundidad lechos de rocas suficientemente porosas, circula a través de los poros de dichas rocas. Esos estratos por los cuales circula agua se conocen como acuíferos. Si el acuífero se encuentra en una zona caliente, el agua que llena los poros de ese estrato tenderá a equilibrar la temperatura con la de la roca que la contiene.

Si la masa de agua acuosa que circula por un acuífero se encuentra con una zona de grietas y fisuras, el agua puede alcanzar la superficie del terreno produciéndose entonces un manantial o vertiente. Si el acuífero se encuentra en una zona donde el gradiente hace que el agua alcance una temperatura suficientemente alta se producirá una manifestación hidrotermal.

2.4.3.2. HISTORIA DE LA ENERGIA GEOTERMICA

La existencia de fumarolas y de fuentes termales en las regiones volcánicas siempre han sido polos de atracción en todas las culturas, ya que las utilizaban para calentarse, cocer alimentos o bañarse.

Hace más de 10.000 años, los Paleo-Indios de América del Norte, ya usaban las aguas termales para cocinar alimentos y sus minerales con propósitos medicinales.

Las primeras civilizaciones, unos 3.500 años antes de Cristo, utilizaban los baños termales y la utilización de barros termo-minerales, pero fueron griegos y, posteriormente, romanos quienes dejaron diferentes tipos de aplicaciones de la energía geotérmica en la calefacción urbana y en las tradicionales termas y baños públicos.

Figura 8: Fuente termal – Lares - Calca

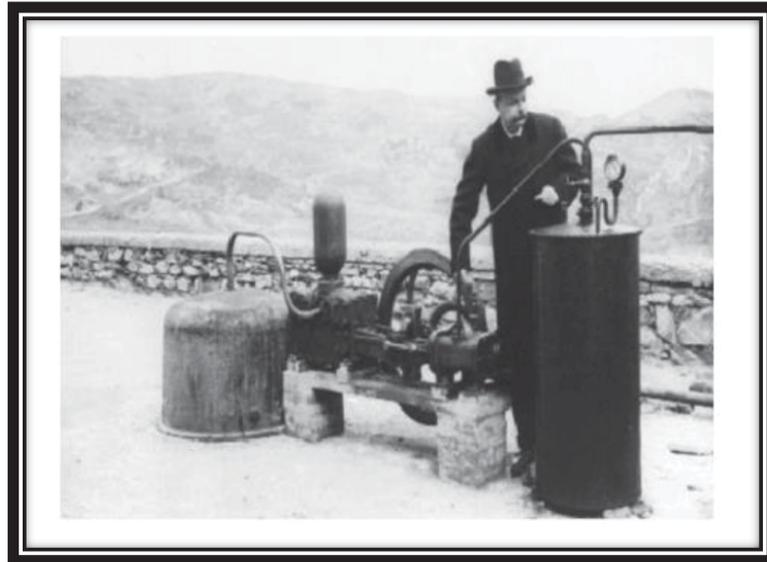


FUENTE: FOTOGRAFIA PROPIA

Durante mucho tiempo, el hombre solamente ha utilizado el calor que afloraba de forma natural en la superficie del planeta sin explotarlo de forma artificial. Fue a partir del siglo XIX, donde, en búsqueda de mejores maneras de explotar el calor interno de la Tierra, se dio paso a los avances técnicos y el mejor conocimiento del subsuelo de la Tierra.

En 1827 el fundador de la industria geotérmica, el francés Francois Larderel, desarrolló un sistema para utilizar el calor de los fluidos en el proceso de evaporación, para evitar la deforestación ya que la madera de los bosques cercanos era usada para producción calor.

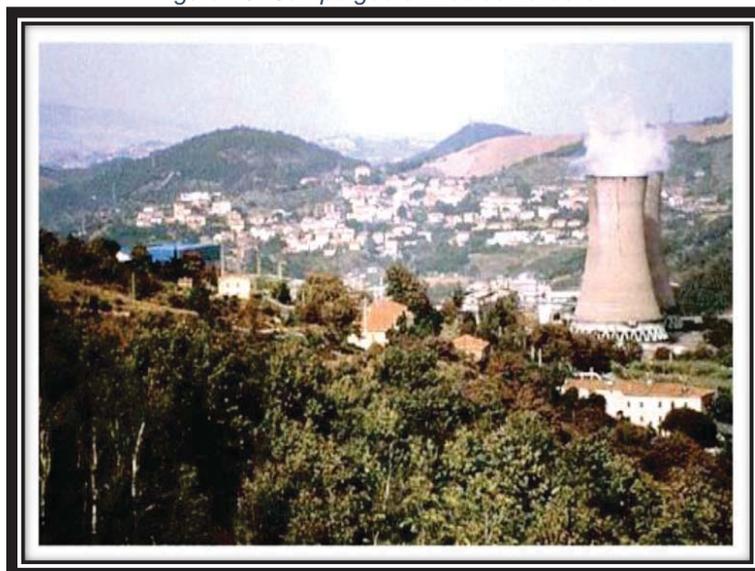
Figura 9: Primera instalación de generación de energía eléctrica de origen geotérmico en Larderello (Italia), en 1904



FUENTE: © 2000 Geothermal Education Office

En el siglo XX el uso de la energía geotérmica se incrementó, arrastrado por las necesidades cada vez más elevadas de energía para abastecer a la sociedad moderna. En 1921, en Estados Unidos, en la zona de The Geysers, en California, se perforaron dos pozos y se instaló una pequeña máquina de vapor que, conectada a una dinamo, producía electricidad para un pequeño establecimiento termal.

Figura 10: Campo geotérmico de Larderello



FUENTE: ©2000 Geothermal Education Office

A partir de 1970 se inició, en varios países del mundo, una intensa labor de exploración e investigación de las aplicaciones de los recursos geotérmicos, como fuente de producción de energía eléctrica o para diferentes usos directos del calor como calefacción y agua caliente.

En la misma década hasta la década de los noventa, las alzas de los precios del crudo, la presión de las exigencias ambientales y más particularmente, la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, dieron como consecuencia un desarrollo prometedor a nivel internacional de las bombas de calor geotérmicas⁷.

En menos de 15 años se ha llegado a la situación actual, con más de un millón de instalaciones de bombas de calor, no sólo en América del Norte, Estados Unidos y Canadá, sino también en varios países de Europa, como por ejemplo en Suecia, Suiza, Alemania y Austria. Sólo en Suecia, existen hoy en día más de 400.000 bombas de calor instaladas.

2.4.4. RECURSOS GEOTERMICOS

El Departamento de Energía de Estados Unidos, en su publicación de Septiembre de 2003 “La energía geotérmica en la actualidad”, afirma textualmente:

“Es muy vasto el potencial de energía geotérmica que poseemos en la Tierra, justo debajo de nuestros pies. Este increíble recurso equivale a 50.000 veces la energía que se obtiene de todos los recursos de gas y petróleo del mundo”.

2.4.4.1. DEFINICION Y TIPOS DE RECURSOS GEOTERMICOS

Recurso geotérmico es una concentración de calor existente en la corteza terrestre, que puede ser aprovechada en términos económicos por el hombre, se puede encontrar en los horizontes más superficiales del suelo, donde el interior de la Tierra actúa como una masa térmica que absorbe energía solar, hasta el calor almacenado en rocas situadas a las profundidades que se podrían

⁷ Resumen de http://www.insugeo.org.ar/publicaciones/docs/scg_15/capitulo_1.htm
dspace.esPOCH.edu.ec

alcanzar con técnicas de perforación de pozos petrolíferos, que actualmente son de unos 10 km.

Las aplicaciones que se pueden dar a un fluido geotermal dependen de su contenido en calor, o lo que es lo mismo, de su entalpía.

Entalpía: es la cantidad de energía térmica que un fluido, o un objeto, puede intercambiar con su entorno. Se expresa en kJ/kg o en kcal/kg.

Debido a la falta de equipos que determinen de una forma directa la entalpía de un fluido en el subsuelo, pero con la ayuda de sondas térmicas que miden la temperatura, puede considerarse a la temperatura y la entalpía más o menos proporcionales, la práctica habitual ha generalizado el empleo de las temperaturas de los fluidos geotermales en lugar de sus contenidos en calor, pues, al fin y al cabo, son las temperaturas las que determinan su futura aplicación industrial.

La división que aparece a continuación es la que establece el Código Minero de Francia, y se puede aplicar tanto a la energía geotérmica, como a las explotaciones, los yacimientos y los recursos geotérmicos.

Así pues, se establecen las cuatro categorías siguientes para la energía geotérmica:

a. Alta entalpía: más de 150 °C

Una temperatura superior a 150 °C permite transformar directamente el vapor de agua en energía eléctrica.

b. Media entalpía: entre 90 y 150 °C.

Permite producir energía eléctrica utilizando un fluido de intercambio, que es el que alimenta a las centrales.

c. Baja entalpía: entre 30 y 90 °C.

Su contenido en calor es insuficiente para producir energía eléctrica, pero es adecuado para calefacción de edificios y en determinados procesos industriales y agrícolas.

d. Muy baja entalpía: menos de 30 °C.

Puede ser utilizada para calefacción y climatización, necesitando emplear bombas de calor.

2.4.5. YACIMIENTOS GEOTERMICOS

Cuando se dan determinadas condiciones geológicas y geotérmicas favorables para que se puedan explotar de forma económica los recursos geotérmicos del subsuelo en un área geográfica, se dice que allí existe un yacimiento geotérmico.

La clasificación más común de los yacimientos geotérmicos es la del nivel de temperatura, con los mismos intervalos de temperatura anteriores.

2.4.5.1. YACIMIENTOS DE MUY BAJA TEMPERATURA

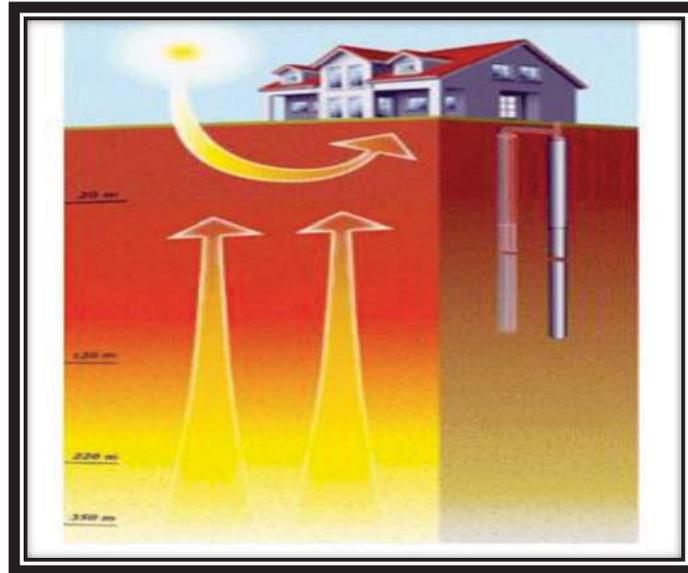
Casi toda la corteza terrestre es considerada un extenso yacimiento de muy baja temperatura, es decir, de menos de 30 °C, que se ve interrumpido por masas de aguas continentales o marinas.

Hasta una profundidad de 0,5 m, la superficie del suelo intercambia calor con la atmósfera y sufre las variaciones diarias de temperatura. A pocos metros de profundidad, la temperatura permanece relativamente estable, entre 7 y 13 °C, si se la compara con la temperatura ambiente en superficie.

Ello es debido al calor recibido del Sol, que calienta la corteza terrestre especialmente en verano, y a la gran inercia térmica de suelos y rocas.

Hasta una profundidad de alrededor de 10 m, las variaciones estacionales de temperatura son perceptibles en el terreno. A partir de 10 m de profundidad y con poca circulación de agua subterránea, el subsuelo puede almacenar el calor que recibe, de forma que el terreno permanece a una temperatura prácticamente constante durante todo el año.

Figura 11: La radiación solar y las condiciones climáticas influyen sobre la temperatura del subsuelo solo hasta una cierta profundidad



FUENTE: Géothermie. L'utilisation de la chaleur terrestre. Suisseénergie

El terreno está a temperatura constante todo el año a una profundidad de 15 m, con un valor ligeramente superior a la temperatura media anual de la superficie.

Dicho valor depende de varios factores como el clima, la vegetación, la cobertura del suelo, su pendiente, la cantidad de nieve y las propiedades generales del suelo.

A partir de 15 m de profundidad, la temperatura de las rocas, que reciben el calor terrestre que remonta de las profundidades, no depende de las variaciones estacionales de temperatura, ni del clima, sólo de las condiciones geológicas y geotérmicas del subsuelo.

2.4.5.2. YACIMIENTOS DE BAJA TEMPERATURA

Yacimientos geotérmicos de baja temperatura, entre 30 y 90 °C, se pueden encontrar en cuencas sedimentarias en donde el gradiente geotérmico sea el normal o ligeramente superior. La única condición geológica requerida es la existencia a profundidad adecuada, entre 1.500 y 2.500 m, de formaciones geológicas permeables, capaces de contener y dejar circular fluidos que extraigan el calor de las rocas. Con un gradiente geológico normal, de alrededor de 3 °C cada 100 m, a una profundidad de 2.000 m, la temperatura puede alcanzar 70 °C o más.

2.4.5.3. YACIMIENTOS DE MEDIA TEMPERATURA

Yacimientos con recursos geotérmicos a temperaturas comprendidas entre 90 y 150 °C se encuentran en numerosos lugares del planeta: en cuencas sedimentarias, como los de baja temperatura, pero a profundidades comprendidas entre 2.000 y 4.000 m; en zonas de adelgazamiento litosférico; en zonas con elevada concentración de isótopos radiactivos; o en los mismos ámbitos geológicos que los yacimientos de alta temperatura, pero a menos profundidad, menos de 1.000 m.

Yacimientos de este tipo se encuentran en un gran número de zonas muy localizadas donde, debido a discontinuidades y fallas, el agua puede remontar fácilmente hasta la superficie, señalando su presencia mediante aguas termales.

Al igual que los yacimientos de alta temperatura, precisan de una intrusión magmática como fuente de calor, y de un acuífero con buena recarga. Se diferencian de ellos en que no existe capa impermeable sobre el acuífero que mantenga el calor y la presión en el yacimiento.

2.4.5.4. YACIMIENTOS DE ALTA TEMPERATURA

Los yacimientos con fluidos geotermales, o con rocas calientes, a más de 150 °C de temperatura, se encuentran en zonas geográficas con gradiente geotérmico extraordinariamente elevado, hasta 30 °C cada 100 m.

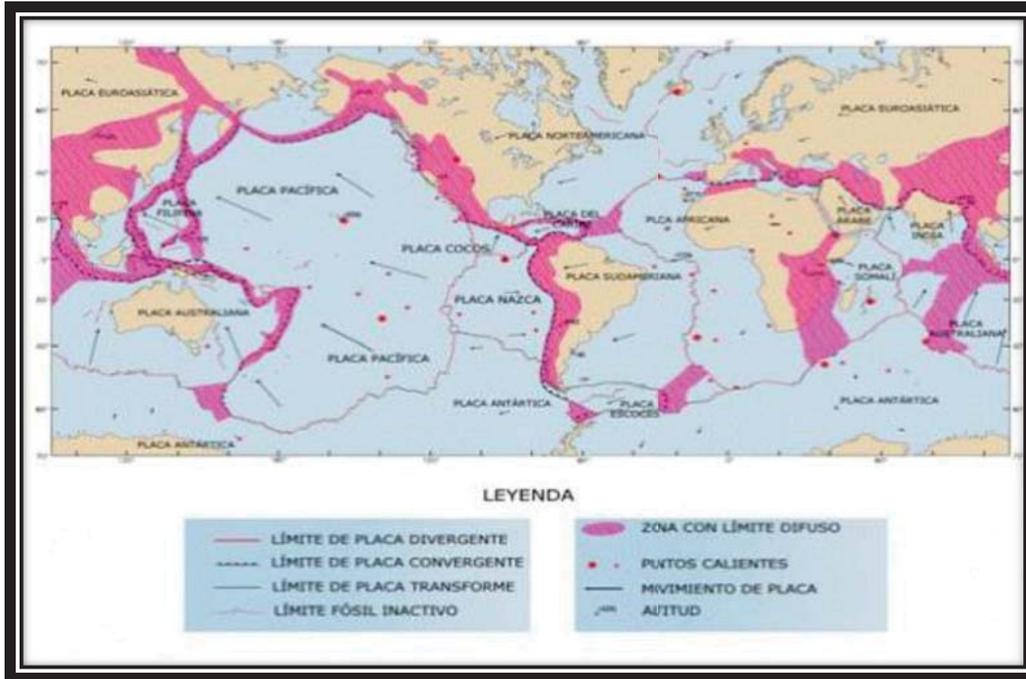
Esas zonas suelen coincidir con la existencia de fenómenos geológicos notables, como actividad sísmica elevada, formación de cordilleras en épocas geológicas recientes, actividad volcánica muy reciente y, principalmente, regiones volcánicas situadas en los bordes de las placas litosféricas. Se suelen explotar a profundidades comprendidas entre 1.500 y 3.000 m, esos fenómenos no son otra cosa que distintas formas de liberación de la energía interna de la Tierra y se producen como consecuencia de los movimientos de convección de masas de rocas fundidas, magmas, procedentes del manto, y por los desplazamientos relativos de las distintas placas que constituyen la litosfera terrestre.

Es esencialmente en los bordes o límites de esas placas, y más generalmente en las zonas frágiles de la corteza, por donde el magma puede escaparse y ascender, dando nacimiento a las intrusiones plutónicas y a los

volcanes. En estos casos el calor se disipa principalmente por convección, y la transferencia de calor es mucho más eficaz. Como zonas propicias para que el magma ascienda a la corteza terrestre, pudiendo llegar o no a la superficie, se pueden citar:

- a. Dorsales centro-oceánicos: Aéreas de separación de placas en donde existe una generación continúa de corteza a partir de magmas ascendentes. Es el caso, por ejemplo, de Islandia, Islas Azores y Las Islas galápagos.
- b. Áreas de choque de placas: Se produce la subducción de una placa bajo la otra con la consiguiente fusión de corteza y generación de magmas. Es el caso del margen occidental del Océano Pacífico y de la costa occidental de América del Sur, donde como consecuencia de dicha subducción tenemos la Cordillera de los Andes que en el Ecuador cruza de norte a sur.
- c. Áreas de actividad distintiva: Dentro de una placa, en zonas de adelgazamiento de la corteza, se pueden originar ascensos de magmas procedentes del manto. Son los casos del gran Rift de África Occidental, el Rift de Río Grande en América del Norte, el Graben del Rin en Europa y el Rift Baikal en Asia.
- d. Puntos calientes (Hot spots): son también áreas de actividad geotérmica situadas en el interior de placas litosféricas. Focos de calor concentrado situados en el manto, cercanos a la base de la litosfera, que son capaces de calentar la corteza terrestre y producir actividad volcánica.

Figura 12: Placas litosféricas



Fuente: U.S. Geological Survey.

Los puntos calientes permanecen fijos en el manto mientras las placas litosféricas se mueven sobre ellos. A medida que se mueve la placa, los volcanes se van enfriando y extinguiendo al quedar cada vez más alejados del foco de calor.

2.4.6. MODELO GEOTERMICO CONCEPTUAL

Para que exista un yacimiento geotérmico, según el modelo geotérmico conceptual que fue realizado a partir de las investigaciones geológicas, geofísicas y geoquímicas realizadas en una gran cantidad de sistemas geotérmicos, se requiere que se den una serie de circunstancias:

- Fuente de calor:** Esta fuente, generalmente, está constituida por un cuerpo de magma situado a una profundidad razonable, desde el cual se trasmite el calor a las rocas circundantes.
- Recarga:** El yacimiento debe ser susceptible de ser recorrido por una corriente de agua. Esta agua puede haberse filtrado en el subsuelo, a través de fracturas o rocas permeables, hasta alcanzar la profundidad necesaria para ser calentada por la fuente de calor. También es posible que el agua sea inyectada por el hombre artificialmente desde la superficie.

- c. **Reservorio:** Presencia de un depósito, el volumen de este depósito lo proporciona rocas permeables situadas a una profundidad, accesible mediante perforaciones, donde se almacena el agua caliente o el vapor, que son los medios para transportar el calor.
- d. **Capa sello:** Existencia de una cubierta impermeable, su presencia es necesaria para impedir que los fluidos se escapen hacia el exterior del yacimiento.

Teniendo en cuenta cuestiones relacionadas con la presencia de agua, del estado de la misma (líquido, vapor), y de la estructura geológica del yacimiento, éstos son sistemas hidrotérmicos.

Sistemas hidrotérmicos: Disponen de agua en su interior, normalmente procedente de deshielos o de la lluvia. Suelen encontrarse a profundidades comprendidas entre 1km y 10km.

En función de la fase en que se encuentre el agua se clasifica en: sistemas con predominio de vapor de agua y sistemas con predominio de agua líquida. Estos son los únicos sistemas que han superado las etapas de investigación y desarrollo experimental, encontrándose, actualmente, en la etapa de explotación comercial.

Generalmente, cuando el fluido alcanza la superficie, bien de forma natural (existencia de grietas), o artificial (perforación realizada por el hombre), súbitamente se transforma en vapor, debido a la disminución de la presión durante el ascenso. Las características del vapor de los sistemas de alta entalpía hacen que éstos sean apropiados para generar energía eléctrica.

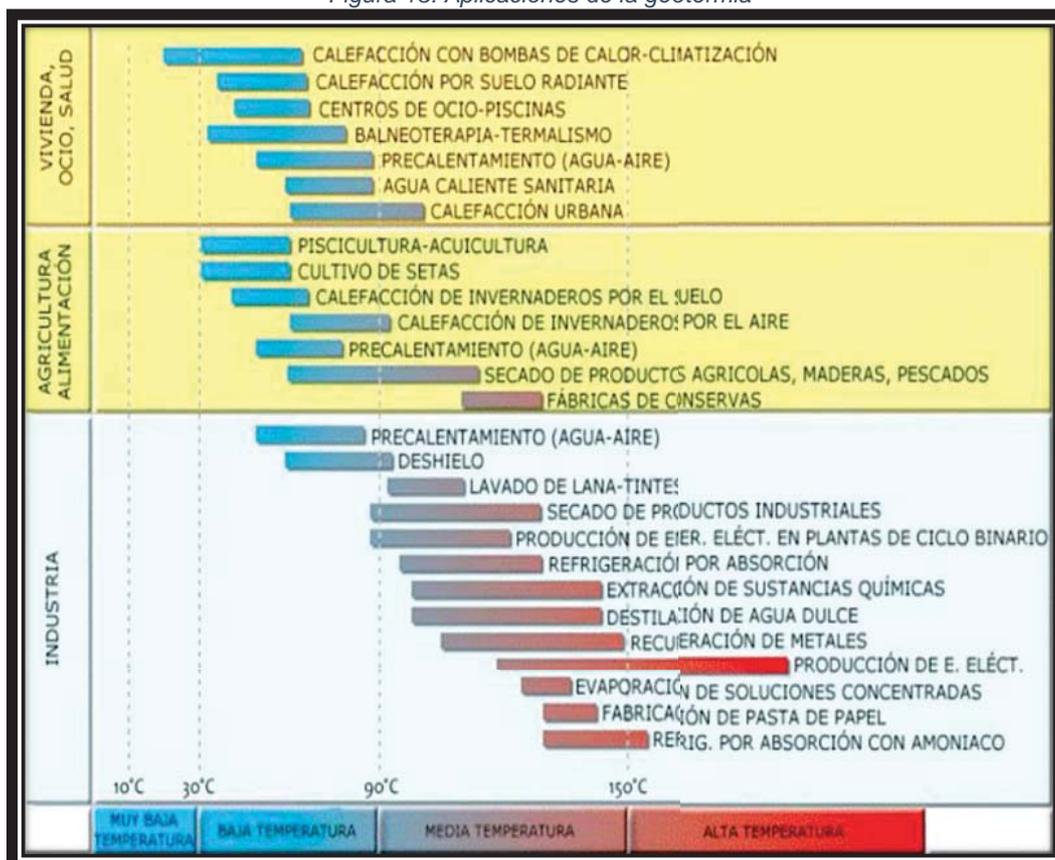
En los sistemas de baja entalpía, con temperaturas menores de 100 °C, el agua que se extraiga en la superficie, por su propia presión o mediante bombeo, tendrá una temperatura inferior a su punto de ebullición, por lo que su aplicación más idónea es el calentamiento de algún fluido (calefacción industrial, urbana, agrícola y balnearios)⁸.

⁸ LLopis Trillo Guillermo, y otros: Guía de la Energía Geotérmica. Dirección General de Industria energía y minas. Comunidad de Madrid. <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-la-energia-geotermica.pdf> dspace.esPOCH.edu.ec

2.5. APLICACIONES DE ENERGIA GEOTERMICA

En esta parte se describe las principales aplicaciones que se puede utilizar de la geotermia directamente o indirectamente. Directamente se puede aprovechar como. Calefacción, balneología, secado de alimentos, piscicultura. Indirectamente se puede generar energía eléctrica. Ver figura N° 13.

Figura 13: Aplicaciones de la geotermia



FUENTE: GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE FUENTES NUEVAS: ENERGÍA GEOTÉRMICA

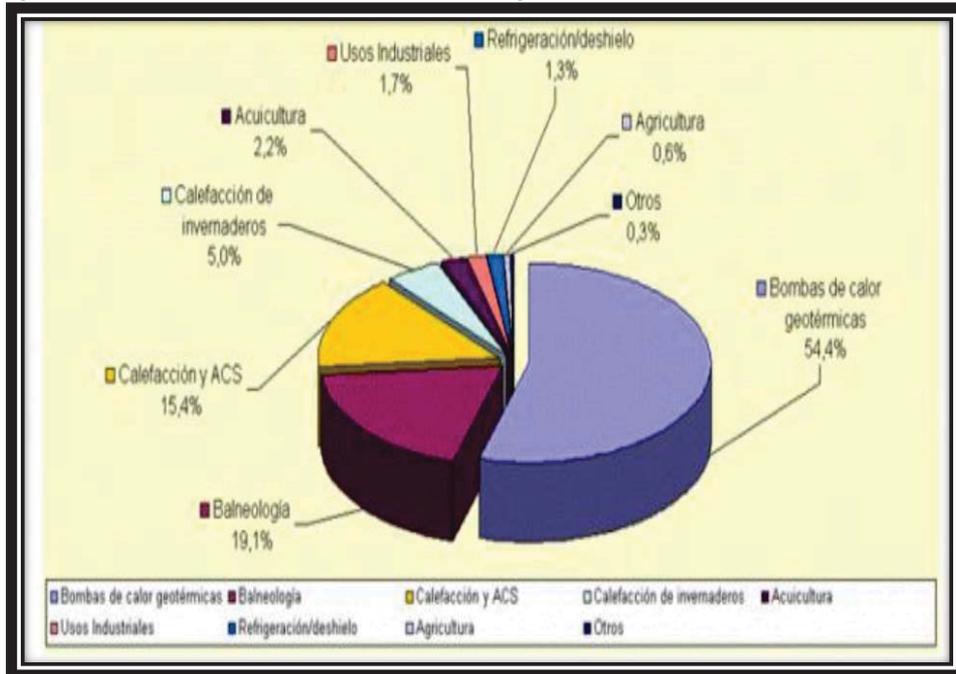
De la misma forma se detalla las aplicaciones que puede aprovechar de los yacimientos evaluados y estudiados en la región del cusco.

2.5.1. UTILIZACION DIRECTA DEL CALOR GEOTERMICO

Se trata de un conjunto heterogéneo de aplicaciones, que abarca la calefacción del agua de piscinas y recintos para baños, la climatización en edificios y viviendas, calefacción de invernaderos y secado de cosechas, acuicultura o piscifactorías, la fabricación de productos industriales, la recuperación de metales, e incluso, aunque sólo sea a nivel estadístico, las

instalaciones de bombas de calor geotérmicas que explotan energía de muy baja o de baja temperatura.

Figura 14: Distribución de la utilización del calor geotérmico en el mundo (TJANO), en 2010

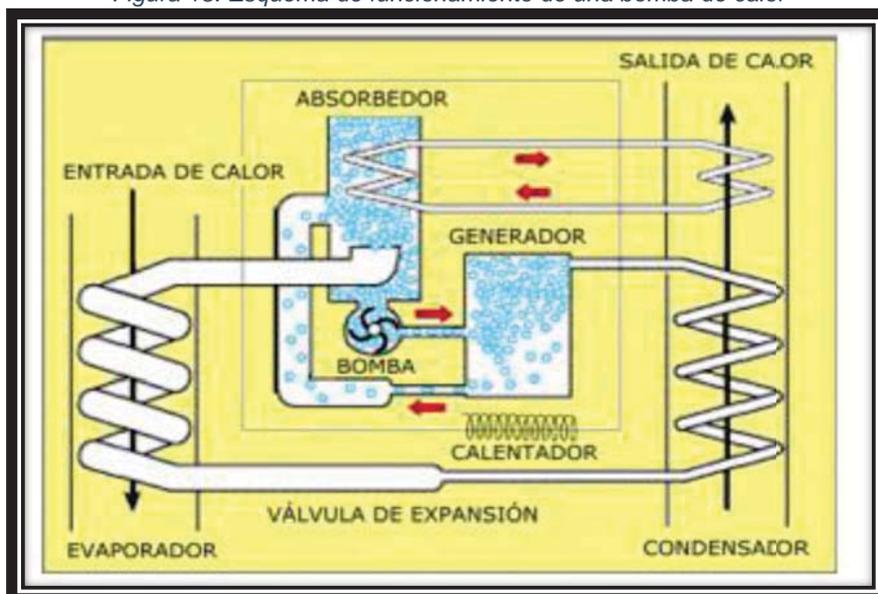


FUENTE: LUND, J.W. DIRECT HEAT UTILIZATION OF GEOTHERMAL RESOURCES WORLDWIDE 2010. GEO-HEAT CENTER. OREGONINSTITUTE OF TECHNOLOGY

2.5.1.1. LAS BOMBAS DE CALOR

Con las bombas de calor geotérmicas se pretende, extraer el calor del subsuelo terrestre, para poder calentar un fluido de alta compresibilidad y bajo punto de vaporización (circuito secundario), con la finalidad de transmitir ese calor a una instalación en invierno, invirtiendo el proceso en verano.

Figura 15: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor



FUENTE: BOMBA DE CALOR. IEE. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Tabla 1: Principales países que hacen uso directo de la energía geotérmica

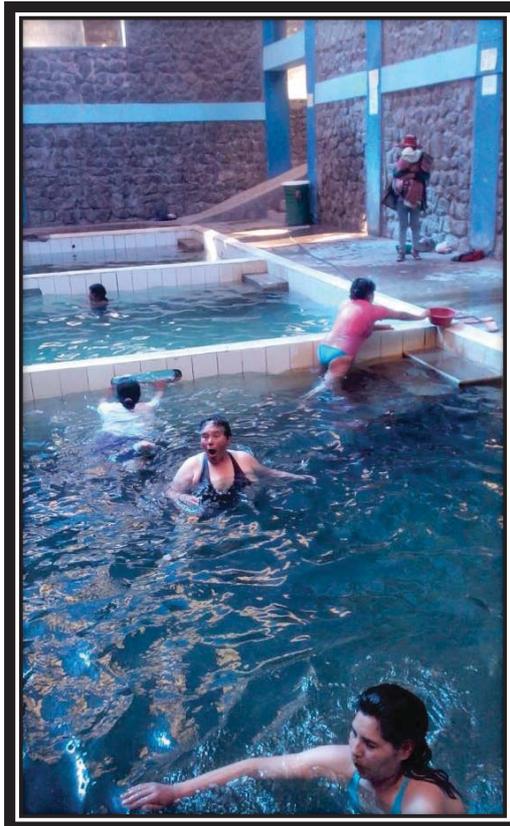
País	Uso Principal
China	Baños
Suecia	Bombas De Calor
Estados Unidos	Bombas De Calor
Turquía	Baños/Calefacción
Islandia	Calefacción Urbana
Japón	Baños
Italia	Baños/Spas
Hungría	Baños/Spas
Nueva Zelanda	Industrial
Brasil	Baños/Spas

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

2.5.1.2. BALNEOLOGIA

La energía geotérmica utilizada en forma de calor, a nivel mundial, para natación, baños y balneología incluyen aguas termales y medicinales de los balnearios tradicionales, que fluyen libremente en superficie.

Figura 16: Balneario comunal – Allcca Victoria - Chumbivilcas



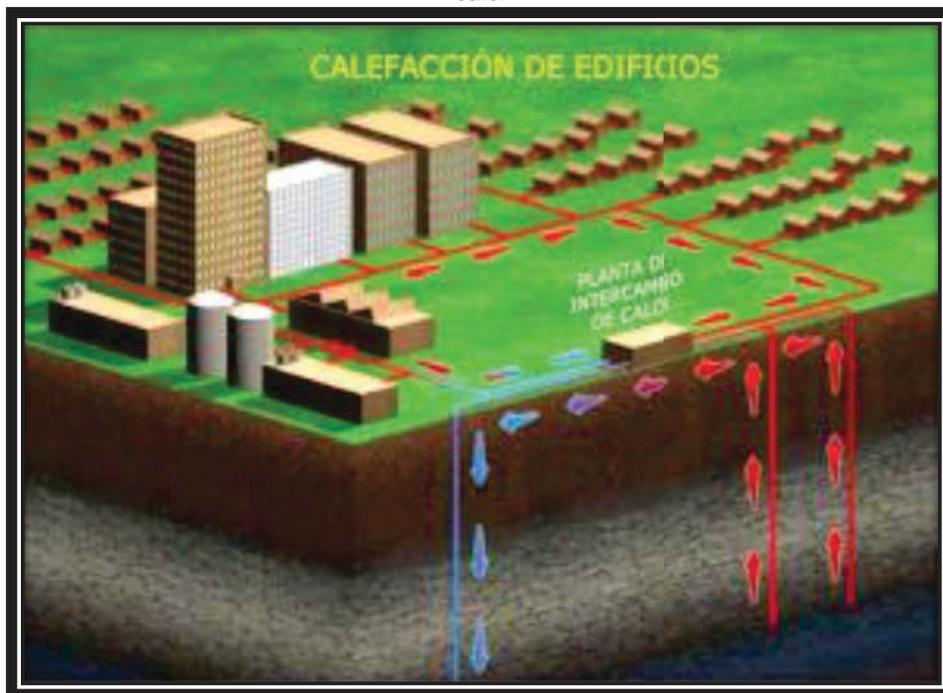
FUENTE: Fotografía propia

2.5.1.3. CALEFACCION DE EDIFICIOS

El calor de la tierra será conducido, desde o hasta el terreno, por un agente intercambiador de calor que, en la inmensa mayoría de los casos es un fluido con unas características especiales, como su bajo punto de congelación y su capacidad de mantener el calor, es decir, una baja inercia térmica; en realidad, suele ser agua con un aditivo, como algún glicol (alcohol especial de bajo punto de congelación)

En la Figura N° 17, se muestra una aplicación típica de circuito cerrado para abastecimiento de calefacción. En ella, el agua del circuito se hace circular por tuberías que, con una distribución adecuada, recorrerá una serie de edificios, complejos, centros de gran extensión, o incluso grupos de viviendas particulares, proporcionando tanto calefacción como agua caliente sanitaria. Las necesidades de calefacción prevén temperaturas de uso entre 50 – 60 °C, con unos intercambiadores de placas modernos de hasta un 70 % de eficacia, se precisarían unas aguas geotérmicas entre 80 y 90 °C.

Figura 17: Agua geotérmica bombeada desde dos pozos de alimentación a la planta de intercambio de calor



FUENTE: ©2000 GEOTHERMAL EDUCATION OFFICE

La entrega en los edificios terminales (puntos de demanda) se realiza a través de tuberías calorífugas convenientemente, al objeto de producir en ellas las menores pérdidas posibles de calor. En los puntos de entrega, los sistemas convencionales de calefacción se encargan de la disipación final del calor en el ambiente a climatizar.

2.5.1.4. CALEFACCION DE INVERNADEROS

Es de dominio público que el cultivo de plantas en invernaderos, lo que pretende es reproducir las condiciones de humedad y temperatura ideales en ambientes que no las poseen de forma natural. Con las características de los aprovechamientos que se han expuesto hasta el momento, es fácil deducir en qué forma se pueden emplear los recursos geotérmicos para la mejora de rendimientos en estas instalaciones agropecuarias.

En la Foto se muestra el mayor invernadero de todo el mundo con climatización de origen geotérmico, situada en Mokai, en la región de Waikato (Nueva Zelanda).

Dispone de una estructura acristalada que ocupa 5 hectáreas y en su subsuelo se encuentra una planta de generación de energía eléctrica, también de origen geotérmico.

Figura 18: Invernadero de 6Ha. De superficie a cristalizada con calefacción geotérmica en Nueva Zelanda



FUENTE: WHITE, B. NEW ZEALAND GEOTHERMAL ASSOCIATION. 2006

2.5.1.5. AGRICULTURA Y CRIANZA DE ANIMALES

Una interesante aplicación del calor geotérmico es la de climatizar las aguas de piscifactorías, tanto de carácter fluvial o lacustre como marina, para algunas especies concretas. Que responden perfectamente a una crianza en ambientes de temperatura constante.

La temperatura del recurso es determinante para dimensionar la capacidad de las instalaciones piscícolas. Lo más normal es que las aguas geotérmicas no puedan usarse directamente en los tanques en circuito abierto, sino que deberá acudir al proceso de intercambiar el calor geotérmico a un circuito secundario que constituye el agua de crianza de los tanques. La variación de temperatura requerida por las especies piscícolas varía entre 20 y 30 °C, lo que requiere una temperatura del recurso oscilando entre los 45 - 60 °C.

Figura 19: Criadero piscícola climatizado con energía geotérmica en Imperial Valley, California, EE.UU.



FUENTE: ©2000 GEOTHERMAL EDUCATION OFFICE

2.5.1.6. SECADO DE ALIMENTOS Y MADERAS

Se ha extendido la práctica de utilizar el calor geotérmico para el secado de productos agrícolas, carnes y pescados, así como para el secado selectivo de maderas. La manipulación de alimentos frescos requiere grandes inversiones en transportes de alto coste de oportunidad, pues dependen de márgenes muy escasos de tiempo antes de que dichos alimentos puedan deteriorarse. La deshidratación por secado de los alimentos permite una estabilización de los mismos, un mayor tiempo de almacenamiento y, por ello, disponer de tiempo para transportes compartidos y cadenas de distribución que abaratan costes al crecer el volumen de los productos.

Cada uno de estos alimentos, dependiendo de su contenido en agua, precisa una temperatura de secado, con lo que la variación de la temperatura del recurso deberá adaptarse a cada necesidad, pero se mantiene en un rango de entre 60 °C - 120 °C.

Es en el secado de la madera donde las aplicaciones de la energía geotérmica han alcanzado una importancia apreciable.

2.6. UTILIZACION INDIRECTA DEL CALOR GEOTERMICO

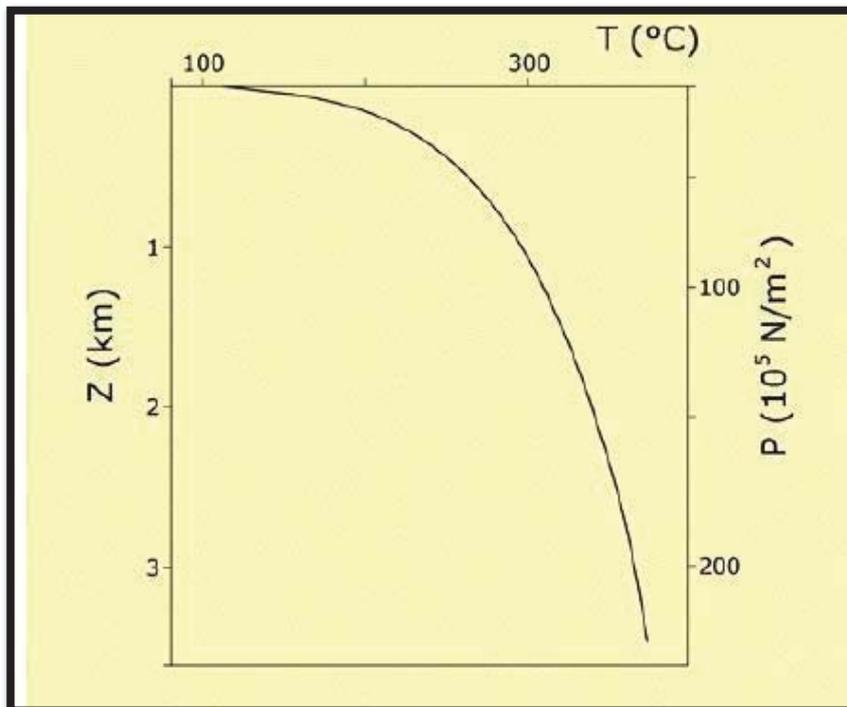
2.6.1. PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

Es evidente que esta es una posible aplicación de la energía geotérmica que provenga de un yacimiento de alta temperatura: la producción de vapor a presión, el cual en los medios convencionales se consigue a base de quemar combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas) o por el calor producido por la fisión nuclear del átomo (energía nuclear). Todos estos sistemas se han revelado como de gran rendimiento, pero con los graves inconvenientes de coste y agresión al medio ambiente, que hoy día se ponen de relieve de forma cada vez más acuciante.

Se puede disponer de vapor de agua a gran presión para alimentar una turbina y generar electricidad, siempre que el caudal que el yacimiento geotérmico proporcione, garantice un suministro suficiente y continuado.

Primero es necesario ver qué posibilidades ofrece la producción de ese vapor a presión que se pueda obtener, de la entrañas de la tierra. Para ello, es interesante estudiar el comportamiento del agua sometida a gran presión y temperatura en las profundidades terrestres. Fig. 20

Figura 20: Temperatura en función a la profundidad y presión



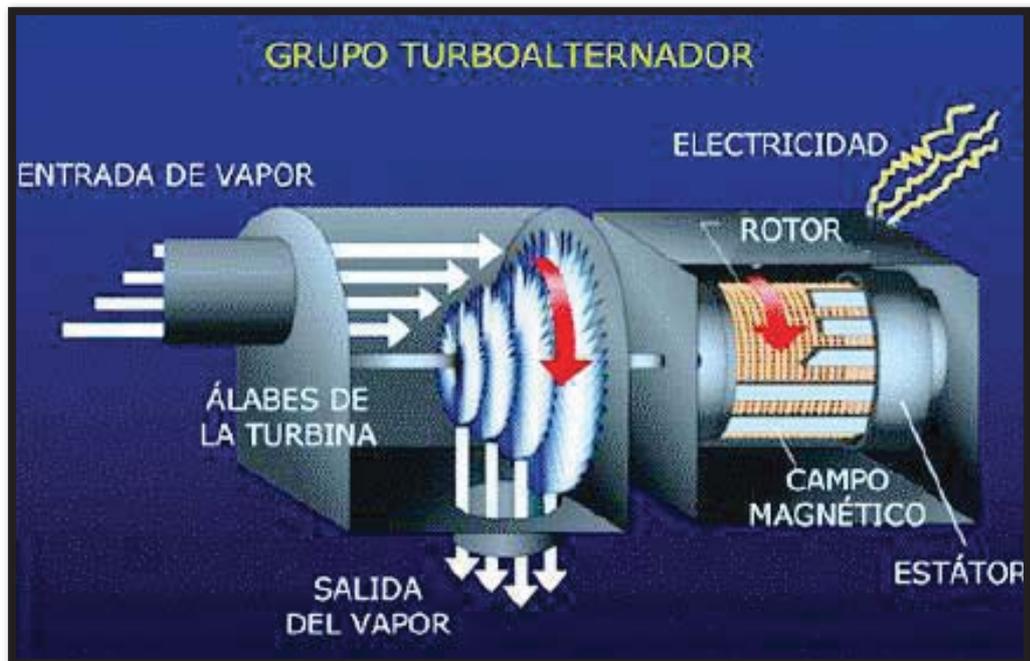
FUENTE: ©2000 GEOTHERMAL EDUCATION OFFICE

Esta curva refleja el punto de ebullición del agua en función de la presión producida por los estratos que se encuentran sobre el acuífero, y de la temperatura que el efecto del gradiente geotérmico produce.

Según se puede apreciar en ella, a unos tres Km de profundidad, con una presión próxima a los $200 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, el agua permanece líquida hasta el entorno de los $350^\circ\text{C} - 400^\circ\text{C}$. Cuando se perfora un sondeo hasta esa profundidad y se extrae el agua, en parte por depresión y en parte por bombeo, el agua va perdiendo su presión de confinamiento, por lo cual baja su punto de ebullición, convirtiéndose en vapor

La producción corriente alterna pasa ineludiblemente por inducir un campo electromagnético en unos bobinados especiales (estator) al girar a gran velocidad otros bobinados (rotor), creando así una diferencia de potencial que constituye la corriente eléctrica. Simplificando el tema el problema se reduce a conseguir una máquina que obligue a girar el rotor de un alternador a gran velocidad. Esta máquina se denomina turbina y el conjunto es lo que denominamos turboalternador que se aprecia en la Fig. 21

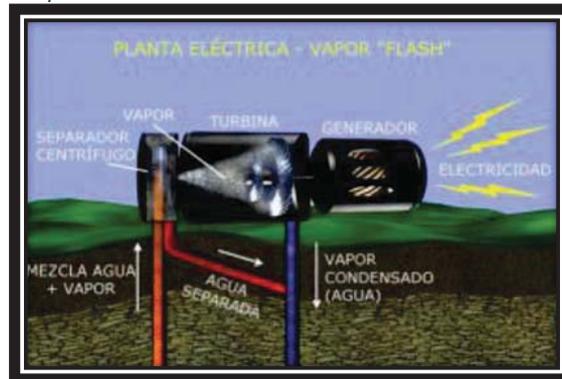
Figura 211: Grupo Turboalternador



FUENTE: ©2000 GEOTHERMAL EDUCATION OFFICE

Este es el caso más sencillo de producción eléctrica, en el que el agua de origen geotérmico es absorbida desde el pozo de alimentación, ya en forma de vapor, hacia una turbina a la que obliga a girar a gran velocidad, perdiendo en el trabajo su energía, que se traduce en una pérdida paulatina de presión y de temperatura, que la devuelven a su estado líquido (aun con la presencia de alguna parte en fase vapor), con la opción de incorporarla al exterior (vapor a la atmosfera y agua a la red hidrográfica), o bien reinyectarla al acuífero de procedencia o a través del pozo de reinyección, una vez utilizada⁹.

Figura 22: Esquema de un turboal ternador funcionando con vapor – flash



FUENTE: ©2000 GEOTHERMAL EDUCATION OFFICE

2.6.2. GENERACION ELECTRICA

De acuerdo con las características de producción del campo geotérmico, por ejemplo flujo másico y entalpía, se puede seleccionar tanto el tamaño como el ciclo térmico de la planta de generación.

La capacidad instalada de generación de la planta puede determinarse con base en el mercado de energía y la productividad actual del yacimiento (este se realiza por medio de la simulación del modelo matemático de la reserva). El ciclo térmico se selecciona, de acuerdo con características del fluido, pero también tomando en consideración las condiciones económicas del proyecto¹⁰.

En general se tienen tres ciclos, para la producción de energía eléctrica:

⁹ IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía: Guía práctica sobre instalaciones centralizadas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en edificios de viviendas. Información y consejos para las comunidades de vecinos. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11081_Guia_instal_centralizadas_calef_y_ACS_edificios_08_659566a6.pdf dspace.espoeh.edu.ec

¹⁰ www.upme.gov.co

- Ciclo con unidades de contrapresión
- Ciclo con unidades de condensación
- Ciclo binario

A continuación se hará una breve explicación de cada uno de ellos:

2.6.2.1. CICLO CON UNIDADES DE CONTRAPRESION

Los fluidos de alta entalpía pueden contener vapor seco o una mezcla de vapor y agua, en dicho caso, el agua y el vapor son divididos por un separador ciclónico. El vapor va a la turbina y el agua a reinyección.

Ese tipo de turbinas tienen un bajo costo pero también baja eficiencia. Su tamaño es pequeño, generalmente entre 1 a 5 MW y es instalada cerca de las bocas de los pozos. El consumo de vapor es del orden de 15Kg/KWh, que es cerca del doble de la cantidad utilizada por las turbinas que condensan eficientemente.

Este ciclo, el vapor es descargado a la atmósfera después de la expansión en la turbina, es usado en campos con un alto contenido de gas, (superior al 10%), debido a que la extracción de gas para plantas de condensación, puede llegar a ser relativamente costosa para una concentración de gas en este rango, la implementación de plantas binarias también puede ser una solución adecuada.

Las unidades de contra-presión, pueden ser instaladas e implementadas, en pocos meses y ser trasladadas de un sitio a otro; por consiguiente, son adecuadas para instalar provisionalmente en cualquiera de las fases en el desarrollo del campo. Esta fase es recomendada debido a que esto anticipa la recolección de recursos de explotación del campo, permitiendo un eficiente monitoreo del comportamiento del campo, antes de la instalación de las plantas de generación.

2.6.2.2. CICLO CON UNIDADES DE CONDENSACION

En este ciclo el vapor es condensado a la salida de la turbina, la presión en la cámara de escape baja a alrededor de 0.10-0.12 bar, que incrementa la entalpía diferencial y por consiguiente la eficiencia del ciclo.

El consumo de vapor es del orden de 7-8 Kg/KWh siempre y cuando el contenido de gas sea menor del 1% y unas condiciones climáticas adecuadas.

La producción en campos donde los fluidos están dominados por agua, requiere el uso de separadores vapor/agua, con cualquiera, single o doble flash. En los sistemas tipo single flash se puede seleccionar la presión de separación, así en la conexión de entrada de la turbina la presión puede ser optimizada (generalmente entre 5 y 7 bares). En esas condiciones, el separador de agua mantiene una temperatura del orden de 150-170°C, esta agua, por consiguiente, estará de nuevo a baja presión (2-2.5 bares), y la alimentación de la turbina se encontrará en unas condiciones adecuadas.

Un ciclo doble no es siempre recomendado por dos razones; la primera es que la temperatura final del agua separada (alrededor de 120°C) generalmente incrementa las incrustaciones en los pozos de reinyección. Segundo; el costo del equipo no necesariamente da como resultado un incremento en la producción de energía, que compense la inversión adicional, especialmente cuando el contenido del agua en un fluido geotérmico decrece con el tiempo, como ocurre a menudo en reservas de alta entalpía¹¹.

2.6.2.3. CICLO BINARIO

En este ciclo el fluido geotérmico viaja a través del intercambiador de calor, allí se evapora un fluido secundario de bajo punto de ebullición (cloro flúor carbonado, amoníaco, isobutano), que impulsa una turbina y es condensado y reciclado dentro de un sistema cerrado. Ese tipo de unidades son usadas en la mayoría de los casos para la producción de energía eléctrica, - utilizando recursos con baja y media temperatura. Un parámetro para seleccionar el fluido secundario es la temperatura de funcionamiento (aproximadamente 90°C)

Ese tipo de unidades tiene alto costo por unidad de capacidad instalada en comparación con las de condensación convencional pero en muchos casos son la alternativa más adecuada para el desarrollo geotérmico. Se puede obtener una alta eficiencia especialmente cuando el contenido de gas del fluido es alto, en tal caso las plantas binarias pueden llegar a ser más económicas que las

¹¹ repository.javeriana.edu.co <https://www.coursehero.com/file/p72a707/Las-unidades-de-contra-presi%C3%B3n-pueden-ser-instaladas-e-implementadas-en-pocos/>

unidades de condensación convencional (que tengan incorporado equipo para extracción de gas), para un fluido de entalpía media las plantas binarias generalmente son la alternativa más económica sin preocuparse por el contenido de gas. Las unidades con ciclo binario proveen un alto grado de flexibilidad y permiten optimizar el recurso geotérmico por medio de la combinación de sistemas en cascada.

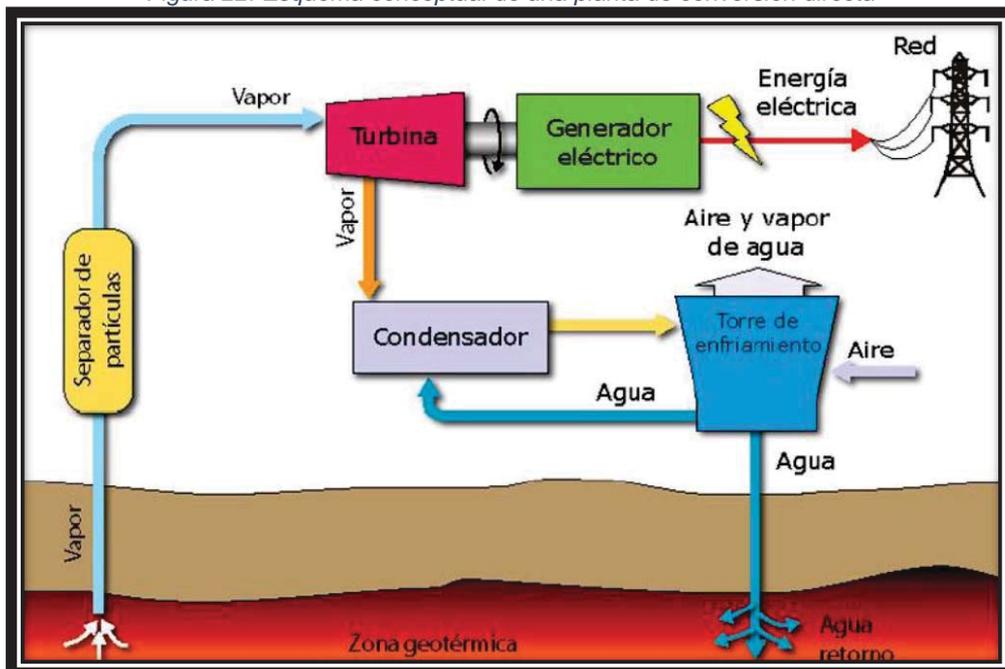
2.7. TIPOS DE PLANTAS

2.7.1. PLANTAS TIPO VAPOR DIRECTO (DIRECT STEAM)

Las plantas de este tipo también se denominan (Vapor seco) usan reservas de vapor seco, el cual puede ser saturado o sobrecalentado, el cual lleva cierta cantidad de gases no condensables de composición y concentración variable.

El vapor es llevado de varios pozos a través de una tubería a la casa de máquinas donde es usado directamente en turbinas tipo impulso/reacción. Entre la boca del yacimiento y la planta existen separadores centrífugos situados cerca del yacimiento para remover partículas tales como polvo y sólidos tales como pedazos de la piedra; a lo largo de la tubería se instalan puntos de drenaje para remover la condensación de vapor que se forma durante la transmisión, y así remover la humedad a la entrada de la casa de máquinas.

Figura 22: Esquema conceptual de una planta de conversión directa



2.7.2. PLANTAS TIPO “FLASH-STEAM”

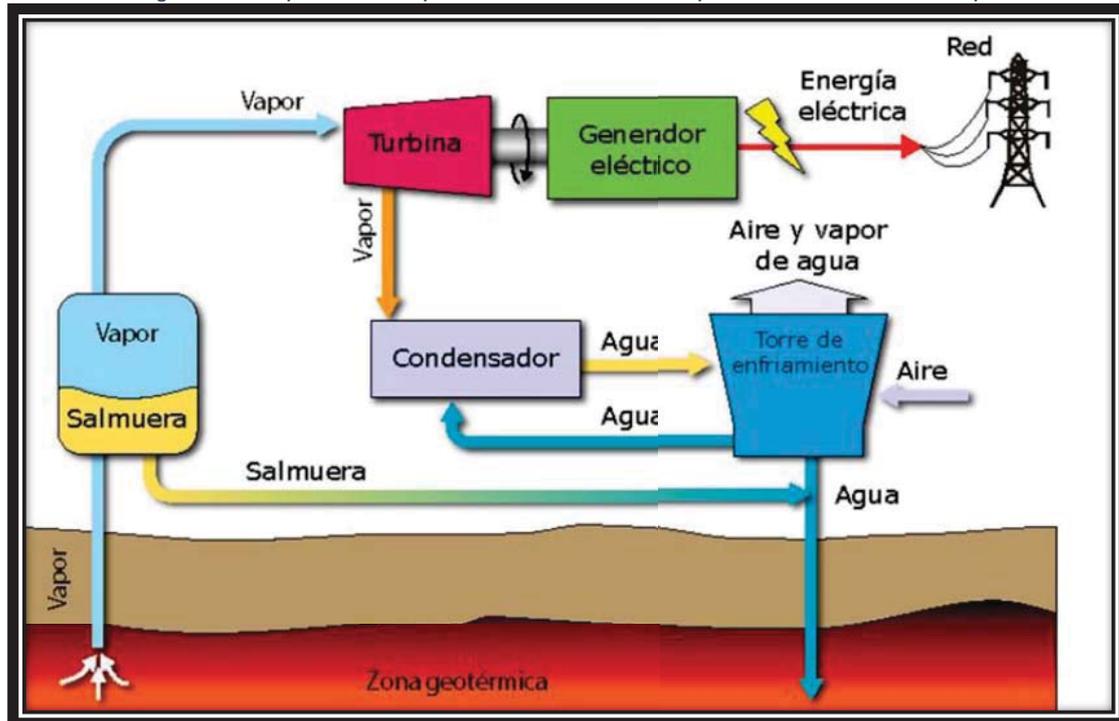
Los yacimientos de vapor seco, son poco frecuentes. Los más conocidos son aquellos donde predomina la fase líquida. En pozos artesianos, el fluido producido es una mezcla de las dos fases, líquido y vapor. La calidad de la mezcla (por ejemplo porcentaje de vapor) es función de las condiciones del fluido en el yacimiento, las dimensiones del pozo, y la presión en la cabeza del pozo, la cual se controla mediante una válvula o por medio de una placa de orificio.

A pesar de que algunas máquinas experimentales han generado energía impulsadas por un fluido que cuenta con las dos fases (líquido y vapor), convencionalmente se separan las fases y solo se usa el vapor para impulsar la turbina debido a su presión en la cabeza del pozo es baja, típicamente entre 0.5-1Mpa la fase líquida y la gaseosa difieren significativamente en la densidad, permitiendo una separación efectiva por la acción centrífuga. Los separadores centrífugos producen vapor con calidades superiores al 99.99%.

Las plantas en las que se utiliza vapor a alta presión para generar energía son las llamadas single flash y las que usan tanto el vapor a alta y a baja presión son denominadas Double –Flash¹².

¹²www.cuantaciencia.com
<http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/geotermia.pdf>

Figura 23: Esquema conceptual de un sistema de expansión súbita de una etapa



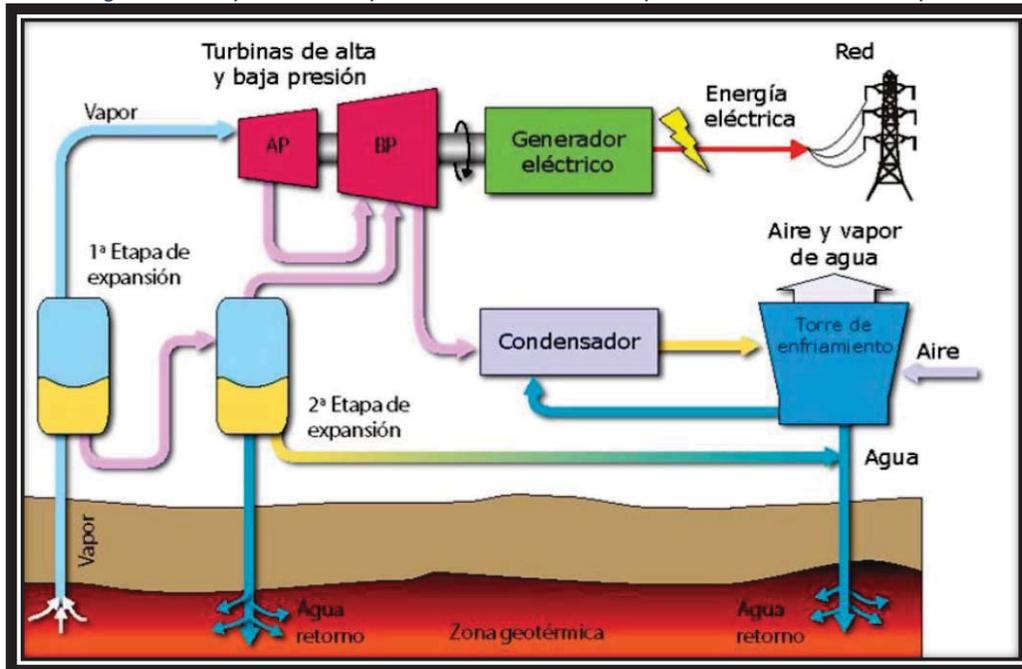
FUENTE:

COMUNIDAD.EDUAMBIENTAL.ORG/FILE.PHP/1/CURSO/CONTENIDOS/DOCPDF/CAPITULO 21.PDF

2.7.3. PLANTAS TIPO “DOUBLE FLASH PLANTS”

Mediante esta tecnología se puede obtener entre un 20 a un 25% de potencia adicional a partir del mismo fluido geotérmico. El vapor de baja presión producido al estrangular el líquido a baja presión es enviado a una turbina de baja presión o a una etapa adecuada de la turbina principal (en el caso de una turbina de admisión dual). Los principios de operación de este tipo de planta es similar a la planta tipo Single Flash, sin embargo es mucho más costosa debido a que requiere mayor equipamiento.

Figura 24: Esquema conceptual de un sistema de expansión súbita de dos etapas



FUENTE:

COMUNIDAD.EDUAMBIENTAL.ORG/FILE.PHP/1/CURSO/CONTENIDOS/DOCPDF/CAPITULO 21.PDF

2.7.4. PLANTAS TIPO BINARIO (BINARY PLANTS)

En una planta tipo Binario la energía térmica del geo fluido se transfiere por medio de un intercambiador de calor a un fluido de trabajo secundario para uso en un ciclo convencional. El geo fluido no está en contacto con las partes móviles de la planta, así mismo minimiza y en muchos casos elimina los efectos de la erosión, las plantas binarias tienen ventajas puesto que pueden manejar geo fluidos de baja temperatura (menos de 150 °C), de alto contenido de gases disueltos y corrosivos.

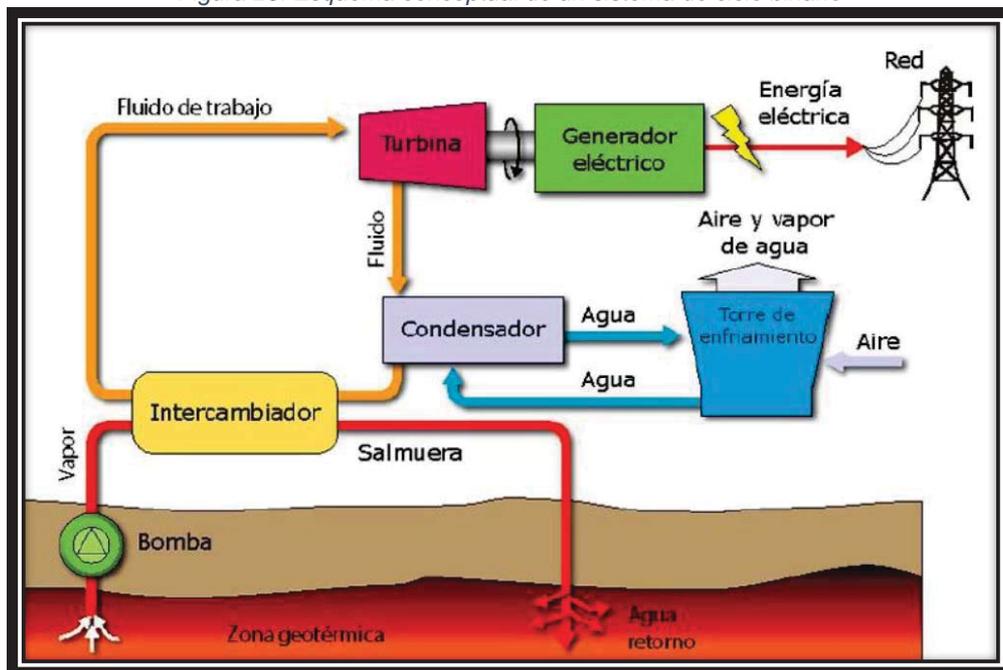
El ciclo consiste en un pre calentador, un evaporador, válvulas de control, el conjunto turbina generador, un condensador y una bomba de alimentación.

El agua o el aire puede ser usado para enfriamiento, dependiendo las condiciones del sitio. Si se usa enfriamiento húmedo, se debe disponer de agua de reposición. Debido a las impurezas químicas de la salmuera residual en general no es adecuada para utilizar en la torre de enfriamiento. Hay un amplio rango de fluidos de trabajo para el ciclo de potencia, para su selección se debe tratar de lograr el mejor aprovechamiento termodinámico a partir de las características del geo fluido, en especial su temperatura. Hidrocarburos tales como el Isobutano, isopentano y propano son buenos candidatos para ser

usados como fluidos de trabajo al igual que ciertos refrigerantes. El fluido de trabajo óptimo será el que proporcione más alta eficacia y una condición de operación segura y económica.

Las plantas tipo binarias son particularmente adecuadas para conformar paquetes modulares de 1-MW por unidad, estas unidades, son probadas en la fábrica ensambladas y embarcadas al sitio para rápida instalación en el campo. El diseño de este tipo de plantas permite que se puedan interconectar varias en el sitio del yacimiento para ajustarse al potencial del recurso¹³.

Figura 25: Esquema conceptual de un sistema de ciclo binario



FUENTE:

COMUNIDAD.EDUAMBIENTAL.ORG/FILE.PHP/1/CURSO/CONTENIDOS/DOCPDF/CAPITULO 21.PDF

2.7.5. PLANTAS COMBINADAS O HÍBRIDAS

Como se ha mencionado los fluidos geotérmicos tienen un amplio rango de propiedades físicas tales como temperatura, presión, presencia de gases no condensables, sólidos disueltos, pH, potencial de corrosión, por tal razón una gran variedad de sistemas de conversión de energía han sido desarrollados para adaptarse a estas condiciones particulares.

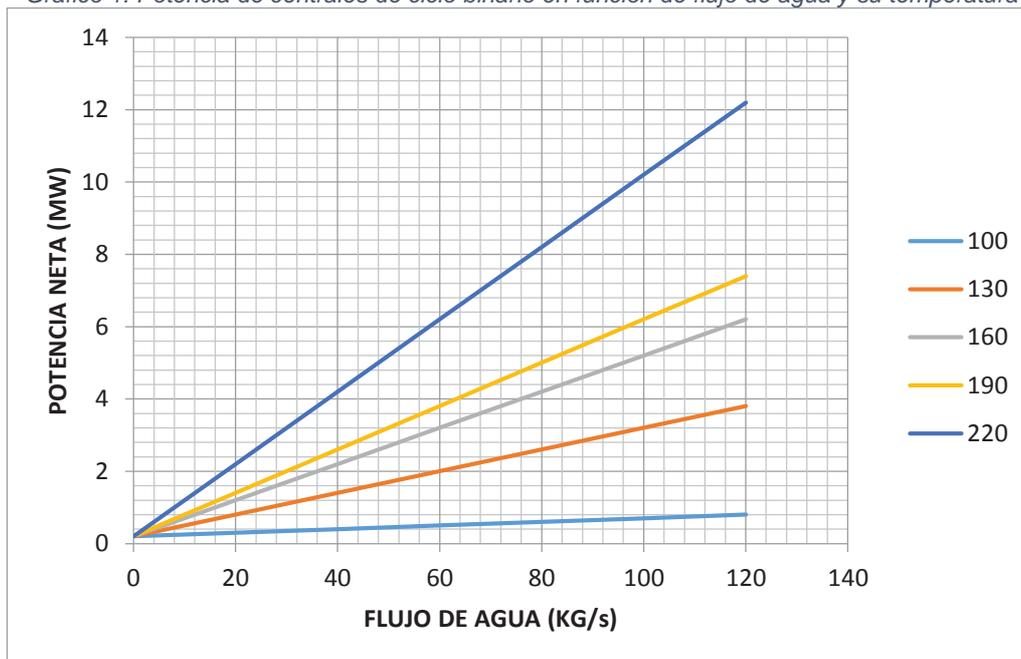
¹³ <http://geotermiaonline.com/wp-content/uploads/2013/12/Aplicaciones-geotermia.pdf>
prezi.com

Los sistemas descritos anteriormente pueden ser combinados para lograr sistemas mucho más efectivos, en consecuencia se pueden diseñar los siguientes tipos de plantas híbridas.

- Plantas direct-steam/ Binary
- Plantas single flash/ Binary
- Planta integrada Single y Doble Flash
- Sistema híbrido geotermia y fósil¹⁴

La eficiencia de una planta de ciclo binario es de 7% a 12%, dependiendo de la temperatura del fluido geotérmico. El grafico N°1, representa la potencia eléctrica de centrales de ciclo binario para una amplia gama de temperaturas y caudales de agua geotérmica, evidenciando la enorme influencia que tienen en la capacidad de la planta.

Grafico 1: Potencia de centrales de ciclo binario en función de flujo de agua y su temperatura



FUENTE: CHANDRASEKHARAM, MODIFICADA

Independientemente del tipo de sistema utilizado en las centrales geotérmicas, los componentes fundamentales de todas ellas son los siguientes:

- Evaporadores y condensadores.

¹⁴ <https://www.coursehero.com/file/p53mfn2/no-Desarenadoras-si-No-No-si-Tuber%C3%ADa-de-vapor-si-Si-si-no-separadores-cicl%C3%B3n-de/>

- Turbinas y generadores.
- Tuberías y bombas.
- Torres de enfriamiento.

Con excepción de los sistemas de ciclo binario, la mayoría de los condensadores que se emplean en los sistemas geotérmicos son de los denominados de contacto directo. En este tipo de intercambiadores la condensación es muy efectiva. El vapor se mezcla con el agua de refrigeración, por lo que a la salida existe un único fluido, agua líquida saturada.

Los condensadores empleados en los sistemas de ciclo binario suelen ser del tipo placa. El fluido de trabajo pasa por muchas superficies de placas de metal, transfiriendo el calor al agua de refrigeración que circula a través de las otras caras de cada placa.

Figura 26: Condensador de placas



FUENTE:

[COMUNIDAD.EDUAMBIENTAL.ORG/FILE.PHP/1/CURSO/CONTENIDOS/DOCPDF/CAPITULO 21.PDF](http://COMUNIDAD.EDUAMBIENTAL.ORG/FILE.PHP/1/CURSO/CONTENIDOS/DOCPDF/CAPITULO%2021.PDF)

Las turbinas son las máquinas encargadas de convertir la energía almacenada en el vapor en energía mecánica de rotación. Pueden emplearse turbinas de vapor simple y de costes relativamente bajos o turbinas de vapor de múltiples etapas.

Figura 27: Turbina de vapor de una instalación geotérmica



FUENTE:

COMUNIDAD.EDUAMBIENTAL.ORG/FILE.PHP/1/CURSO/CONTENIDOS/DOCPDF/CAPITULO 21.PDF

Cuando el fluido geotérmico pasa a través de la turbina se presentan problemas de precipitación de sales, incrustaciones, corrosión y desgastes. Estos problemas se reducen enormemente cuando se emplean sistemas de ciclo binario.

Para refrigerar los condensadores se emplean torres de enfriamiento. En dichas torres el flujo caliente (el agua) se enfría mezclándolo directamente con el fluido frío (el aire). El proceso de transferencia de calor tiene lugar por convección y vaporización al pulverizar el agua o dejarla caer en una corriente (tiro) inducida de aire. Mediante el empleo de torres de enfriamiento el calor procedente del proceso se desecha en la atmósfera en vez de hacerlo en el agua de un río, un lago o en el océano.

2.7.6. FACTORES ECONOMICOS DE LAS PLANTAS GEOTERMICAS

Los costos asociados con la construcción y operación de una planta geotérmica dependen de los siguientes factores:

- Tipo de recurso (vapor o agua caliente)
- Temperatura del recurso
- Productividad del yacimiento
- Tamaño de la planta (caudal)
- Tipo de planta (Single flash, binaria...)
- Reglamentación ambiental.
- Costo del Inversión
- Costo de la mano de obra

Los tres primeros factores son un indicativo del número de pozos que son necesarios perforar para soportar la capacidad de la planta. Utilizando costos típicos y potencial de generación, de los yacimientos, un pozo puede llegar a costar entre 100-400 USD/kW. Los tres siguientes factores determinan el costo del capital del sistema de conversión de energía mientras que los dos últimos afectan el costo del funcionamiento de la planta.¹⁵

¹⁵Unión Temporal ICONTEC – AENE: Unidad de planeación minero energética: formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión. Bogotá 2003. repository.lasalle.edu.co
<http://studylib.es/doc/8115794/utilizaci%C3%B3n-de-la-energ%C3%ADa-geot%C3%A9rmica-documento-descriptivo>

CAPITULO III

3. PROSPECCION Y RECOLECCION DE DATOS

3.1. INTRODUCCION

Este trabajo es de carácter científico de acuerdo a la información exploratoria de fuentes bibliográficas referente a energía geotérmica. Este tema es poco conocido en nuestro país y en la región Cusco.

Empezamos con la recolección de datos, investigación bibliográfica y oral seguidamente se hace una selección de logística, se plantean una muestra universal luego se hace un plan de visitas, organización de datos y se llega a elaborar un mapa geotérmico de la región.

3.2. FASES DE LA RECOLECCION DE DATOS

Para elaborar esta fase tenemos los siguientes pasos:

3.2.1. INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA

Se inicia con la investigación virtual, el cual nos lleva a fuentes bibliográficas de instituciones como: INGEMMET y DIRCETUR; tienen datos acerca de la existencia de fuentes termales de la región de Cusco.

A continuación, de acuerdo a esta recopilación se elaboran las siguientes tablas:

a. INGEMMET, muestra datos de carácter científico.

Tabla 2: Yacimientos termales de la región del cusco según INGEMMET

N°	NOMRRE	LOCALIDAD	DISTRITO	PROVINCIA
1	AGUA MINERAL CCOLLUPATA	MARACONGA	SAN GARARA	ACOMAYO
2	AGUA MINERAL POCPOCA	POCPOCA	ACOPIA	ACOMAYO
3	AGUA TERMAL SAUCEDA	LIMANTABO	LIMATAMBO	ANTA
4	YANATILE	YANATILE	YANATILE	CALCA
5	CHOQUECANCHA	LARES	LARES	CALCA
6	BAÑOS TERMALES LARES	LARES	LARES	CALCA
7	BAÑOS TERMALES MACHACANCHA	MACHACANCHA	CALCA	CALCA
8	AGUA MINERAL MINASMOCCO	CALCA	CALCA	CALCA
9	BAÑOS GEOMEDICINALES CCACCATU	LAMAY	LAMAY	CALCA
10	AGUA MINERAL COMOPUQUIO	CARANTA	PAMPAMARCA	CANAS
11	YANAoca - UCCURMINA	YANAoca	YANAoca	CANAS
12	AGUA MINERAL CHILCA	PITUMARCA	PITUMARCA	CANCHIS
13	AGUA TERMAL PAHTANA	UCHULLUCLLO	PITUMARCA	CANCHIS
14	UCHULLUCLLO	UCHULLUCLLO	PITUMARCA	CANCHIS
15	CCOMUNTO	UCHULLUCLLO	PITUMARCA	CANCHIS
16	AGUA MEDICINAL SAN PABLO	SAN PABLO	SAN PABLO	CANCHIS
17	AGUAS TERMALES UYURMIRE	PATANSA	SICUANI	CANCHIS
18	AGUAS CALIENTES LA RAYA (OCOBAMBA)	OCUBAMBA	MARANGANI	CANCHIS
19	AGUAS CALIENTES-RÍO JARUMA	CHAQUEYLLA	PALLPATA	ESPINAR
20	AGUA TERMAL CHAQUEYLLA	CHAQUEYLLA	PALLPATA	ESPINAR
21	AGUAS TERMALES CCAHUAYMAYO	CHIMUR	CHALLABAMBA	PAUCARTAMBO
22	QUELLOMAYO	QUELLOMAYO	SANTA TERESA	QUILLABAMBA
23	URPIPATA	URPIPATA	SANTA TERESA	QUILLABAMBA
24	CCOLPAPAMPA	SALKANTAY	SANTA TERESA	QUILLABAMBA
25	BAÑOS PAMPACANCHA	PAMPACANCHA	OCONGATE	QUISPICANCHIS
26	BAÑOS PACCHANTA	PACCHANTA	OCONGATE	QUISPICANCHIS
27	BAÑOS GEOMEDICINALES MARCAPATA	MARCAPATA	MARCAPATA	QUISPICANCHIS
28	AGUA MINEROMEDICINAL MARCANI	LLACTAORCO	SAN PEDRO	SICUANI
29	AGUA MINEROMEDICINAL CCAYLLA	LLACTAORCO	SAN PEDRO	SICUANI
30	CCOLPANI	CCOLPANI	MACHUPICCHU	URUBAMBA
31	AGUAS CALIENTES	MACHU PICCHU	MACHU PICCHU	URUBAMBA
32	SALINERAS DE MARAS-PICHINGOTO	MARAS	MARAS	URUBAMBA

FUENTE: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS

b. DIRCETUR, sus datos son con fines turísticos.

Tabla 3: Yacimientos termales según DIRCETUR

N°	NOMRRE	LOCALIDAD	DISTRITO	PROVINCIA
1	PULCA YACU	QUEBRADA LOS ROCOTALES	MACHUPICCHU	URUBAMBA
2	PICHINAS	PICHINAS	YANAoca	CANAS
3	TÚPAC AMARU	TÚPAC AMARU	TÚPAC AMARU	CANAS
4	CHUCCHO	LLIQUE	SANTO TOMAS	CHUMVIBILCAS
5	RANRAPATA	RANRAPATA	QUIÑOTA	CHUMVIBILCAS
6	CCOÑEC UNO	URCURUTA	VELILLE	CHUMVIBILCAS
7	CCORITAMBO	SUYQUTAMBO	SUYQUTAMBO	ESPINAR
8	YAUROSQUE	YAUROSQUE	YAUROSQUE	PARURO

FUENTE: DIRCETUR

3.2.2. INFORMACION ORAL

Después de la investigación bibliográfica, se recurre a la información oral, consultando a los pobladores de las provincias a visitar encontrando nuevos yacimientos que no existen en la bibliografía, y son:

Tabla 4: Yacimientos ubicados por información oral

N°	NOMRRE	LOCALIDAD	DISTRITO	PROVINCIA
1	CCOYLLORPUJYO	CHOCCO	SANTIAGO	CUSCO
2	CCOULLONPUJYO	CORAO	SAN SEBASTIÁN	CUSCO
3	CHACCHURA	CHILCHICANI	SANGARARA	ACOMAYO
4	LA RAYA UNSAAC9	LA RAYA	MARANGANI	CANCHIS
5	UPIS	TINKE	OCONGATE	QUISPICANCHIS
6	CALICANTO	CHAMACA	CHAMACA	CHUMVIBILCAS
7	LLUSCCO	LLUSCCO	LLUSCCO	CHUMNIBILCAS
8	CACHI CACHI	WILCAMAYO	ACOS	ACOMAYO

FUENTE: ELABORACION PROPIA

3.2.3. SELECCIÓN DE LOGISTICAS PARA VISITAS

La logística que se necesita para las visitas de los yacimientos localizados son los siguientes:

a. PIROMETRO

Tabla 5: Especificaciones técnicas del Pirómetro.

Marca de fábrica	BENETECH
Modelo	GM320
Cantidad	1
Color	Naranja + negro
material	Plástico
Características	Pantalla: 1,2 pulgadas; Rango de temperatura: -50C ~ 330C (-58 ~ 626F);Precisión: +/- 1.5C (2.7F +/-) o el 1,5% durante 0C ~ 330C (32F ~ 626F), +/- 3C (+/- 5F) durante -50C ~ 0C (-58F ~ 32F);Receptibilidad: 1% o 1C;Tiempo de reacción: 500 mseg, el 95% en relación; Longitud de onda de respuesta: 8 ~ 14um;Emisividad: 0.95 preestablecido; Temperatura de trabajo: 0 ° C ~ 40 ° C (32 ~ 104F);Humedad relativa: 10% ~ 90% RH sin condensación; Temperatura de almacenamiento: -20C ~ 60C (-4F ~ 140F);Desarrollado por 2 pilas AAA (incluidas);Duración de la batería: Laser de 12 horas; Objeto relación de la distancia: 12: 1
Aplicación	Grande para las pruebas de temperatura
Lista de embalaje	1 x termómetro infrarrojo 2x pilas AAA 1 x manual de usuario chino
Dimensiones	5.79 in x 3.03 in x 1.50 in (14.7 cm x 7.7 cm x 3.8 cm)
Peso	3.56 onz. (101 gr.)

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES DEL PIROMETRO

Figura 28: Pirómetro



FUENTE: Fotografía propia

b. TERMOMETRO

Tabla 6: Especificaciones técnicas del Termómetro

Modelo 12207 Min/Max Termómetro Digital	
Característica	Especificación
DeltaTrak fabrica productos bajo un sistema de gestión de calidad certificado ISO 9000	
Rango de Temperatura	Internal Sensor: 14°F to 122°F (-10°C to 50°C) External Sensor: -58°F to 158°F (-50°C to 70°C)
Precisión	±1.8°F (±1.0°C)
Resolución	0.1°F (0.1°C)
Mostrar lectura actual	10 seconds
Sensor	Thermistor
Longitud del cable del sensor externo	10 ft. (3m)
Tamaño de la pantalla	1.9 in. (W) x .8 in. (H) (48 mm x 21 mm)
Tamaño del producto	2.9 in. (W) x 2 in. (H) x 6 in. (D) (73 mm x 52 mm x 15 mm)
Peso	2.5 oz. (70 g)
Material del empaque	Polycarbonate and ABS plastic
Sonda	Stainless steel probe, .875 in. (L) (17.8 mm)
Batería (incluida)	1.5 volt AAA/ UM4 or equivalent
Certificación/Calibración	CE mark, N.I.S.T. traceable by lot

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES DEL TERMOMETRO

Figura 29: Termómetro digital



FUENTE: Fotografía propia

c. GPS (Aplicación de celular – ALPINEQUEST)

AlpineQuest GPS es una aplicación de GPS con mapas topográficas, la aplicación, que viene con una brújula incorporada, nos dará la posibilidad no solo de ver nuestra posición en el mapa, sino de saber en todo momento en que punto exacto estamos mostrando nuestras coordenadas con datos de altitud y latitud. Estos datos, además, podremos exportarlos a otras aplicaciones o compartirlos a través de Internet.

Figura 30: AlpineQuest – Aplicación para Android



FUENTE: Fotografía Propia

d. MOVILIDAD

Figura 31: Movilidad utilizado para las visitas



FUENTE: Fotografía Propia

e. BOTELLAS PARA RECOGER MUESTRAS DE AGUA

Figura 32: Muestra de agua en botella



FUENTE: Fotografía Propia

f. CASCOS

Figura 33: Cascos de seguridad



FUENTE: Fotografía Propia

g. CAMARA FOTOGRAFICA

Figura 34: Camara fotográfica - SONY



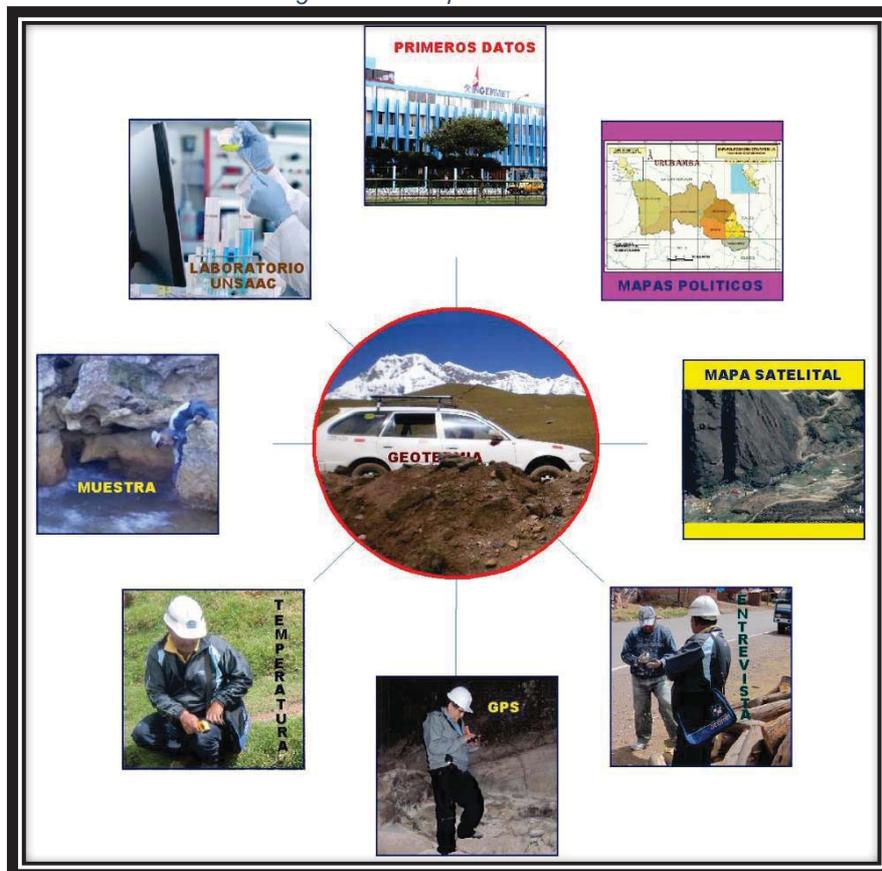
FUENTE: Fotografía Propia

3.2.4. DEFINICION DE MUESTRA DE INVESTIGACION

Para tener muestras de esta investigaci3n se toma el universo total de Los yacimientos termales tanto bibliográficos como termales.

3.2.5. PLAN DE VISITAS

Figura 35: Recopilaci3n de datos



FUENTE: Elaboraci3n propia

Tabla 7: PLAN DE VISITAS

PROVINCIA	DISTRITO	LOCALIDAD	FUENTE
CUSCO	Santiago	Chocco	Ccollorpujyo
	San Sebastián	Corao	Ccollonpujyo
CANCHIS	Marangani	La Raya	Occobamba
	Marangani	La Raya	UNSAAC
	Sicuani	Patanza	Uyurmiri
	Pitumarca	Uchulluclo	Phatana
	Pitumarca	Uchulluclo	Chilca
	Pitumarca	Uchulluclo	Uchulluclo
	Pitumarca	Pitumarca	Ccomunto
	San Pablo	San Pablo	San Pablo
	San Pablo	San Pablo	Marcani, Caylla
CALCA	Lares	Choquecancha	Salvianniyoc
	Lares	Lares	Lares
	Calca	Machacancha	Machacancha
	Calca	Calca	Minasmocco
	Lamay	Lamay	Ccaccato
PAUCARTAMBO	Challabamba	Chimur	Chimur
ANTA	Limatambo	Sauceda	Sauceda
PARURO	Yaurisque	Yaurisque	Yaurisque
QUISPICANCHIS	Tinke	Pacchanta	Pacchanta
	Tinke	Upis	Upis
	Tinke	Pampacancha	Pampacancha
	Marcapata	Marcapata	Baños
ACOMAYO	Sangarara	Kcullupata	Kcullupata
	Sangarara	Chillchicani	Chacchura
	Acopia	Wayrachina	Pocpocca
	Acos	Willcamayo	Cachi Cachi
CHUMBIVILCAS	Chamaca	Chamaca	Callicanto
	Santo Tomas	Llique	Chuccho
	Llusco	Llusco	Llusco
	Livitaca	Allca Victoria	Allca Victoria
	Quiñota	Ranrapata	Ranrapata
	Vellile	Urcuruta	Ccoñecuno
CANAS	Pampamarca	Pampamarca	Ccomopuquio
	Yanaoca	Yanaoca	Ucurmina
	Yanaoca	Yanaoca	Pichinas
ESPINAR	Pallpata	Pallpata	Chaquilla
	Pallpata	Pallpata	Jaruma
LA CONVENCION	Santa Teresa	Cocalmayo	Cocalmayo
	Santa Teresa	Yanatile	Yanatile
	Santa Teresa	Salkantay	Ccollpapampa
	Santa Teresa	Quellomayo	Quellomayo
	Santa Teresa	Pacaymayo	Pacaymayo
URUBAMBA	Machu Picchu	Machu Picchu	Machu Picchu
	Machu Picchu	Machu Picchu	Collpani

FUENTE: ELABORACION PROPIA

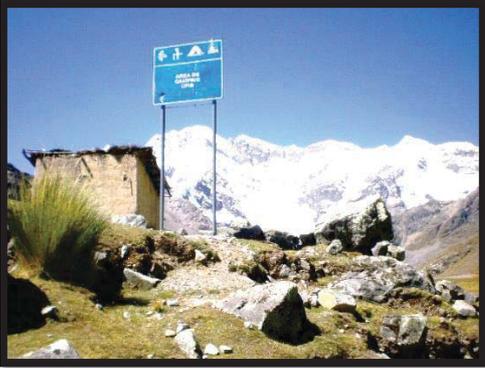
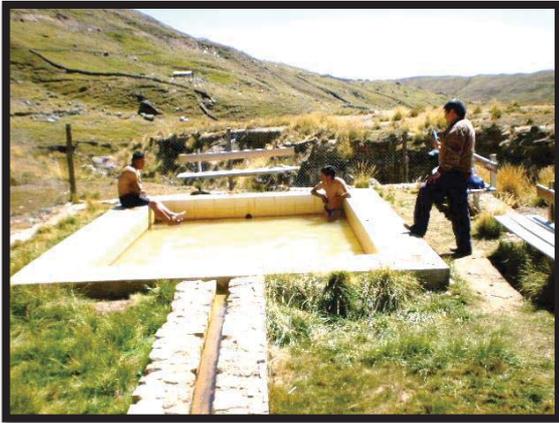
3.3. ORGANIZACIÓN DE DATOS

a. FICHA TECNICA

Tabla 8: Aguas termales Choquecancha

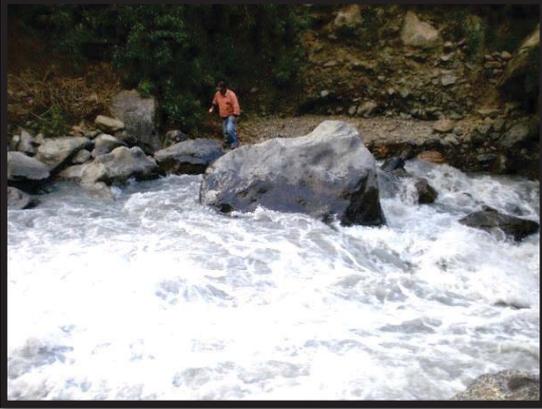
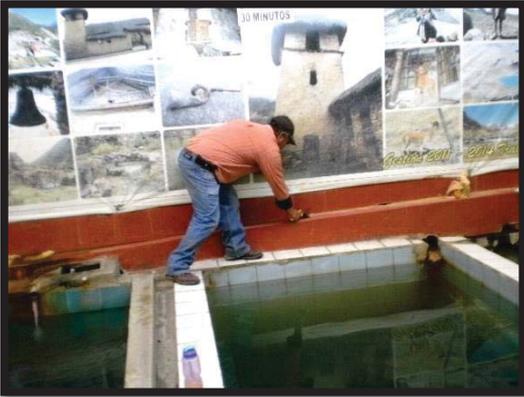
Denominación	Aguas Termales Choquecancha
Tecnología	Emanación
Datos Físicos	
Surgencias	02
Ubicación	
Comunidad	Quebrada Salvianniyoc – Choquecancha
Distrito	Lares
Provincia	Calca
Departamento	Cusco
Altitud	
Primero	2681 m.s.n.m.
Segundo	2681 m.s.n.m.
Coordenadas: 1 UTM	18 L, 821326E – 8558355N
2 UTM	18 L, 821326E – 8558355N
Datos Termodinámicos	
Temperatura Grados Celsius	
Primera surgencia	76.2 °C, 79°C, 80°C
Segunda surgencia	90.8 °C
Datos Químicos:	
pH	7.15
Tipo de agua	Bicarbonatada (782.00 ppm)
Información Relevante	Están ubicados a 115 kilómetros en la carretera Cusco – Lares – Yanatile,
	
	

Tabla 9: Aguas Termales Upis

Denominación	Aguas Termales Upis
Tecnología	Balneología
Datos Físicos	
Surgencias	03
Ubicación	
Comunidad	Upis
Distrito	Ocongate
Provincia	Quispicanchis
Departamento	Cusco
Altitud	3310 m.s.n.m.
Coordenadas: 1 UTM	19 L, 285541E – 8495587N
Datos Termodinámicos	
Temperatura Grados Celsius	52°C, 71°C, 80°C
Datos Químicos	
pH	6.6
Tipo de agua	Clorurada
Información Relevante	
	
	

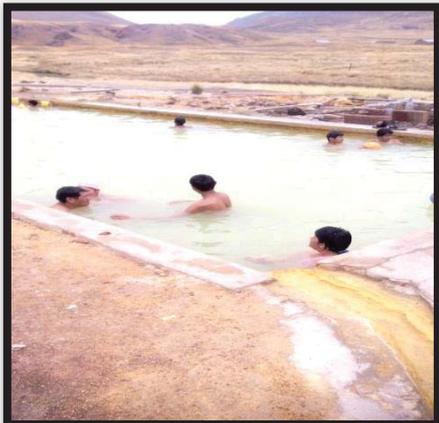
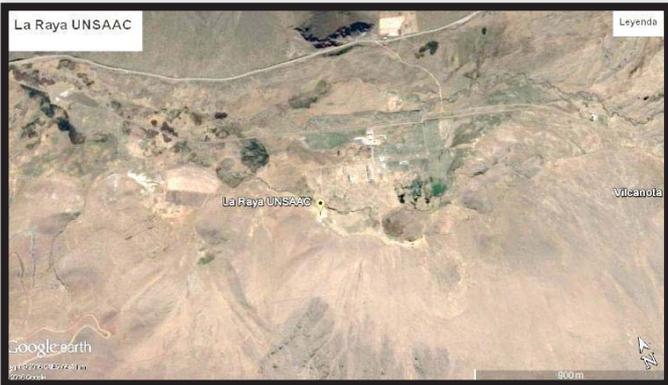
FUENTE: ELABORACION PROPIA

Tabla 10: Aguas Termales Marcapata

Denominación	Aguas Termales Marcapata
Tecnología	Emanación
Datos Físicos	
Surgencias	04
Ubicación	
Comunidad	Baños
Distrito	Marcapata
Provincia	Quispicanchis
Departamento	Cusco
Altitud	2930 m.s.n.m.
Coordenadas: UTM	19 L, 28579E – 849603N
Datos Termodinámicos	
Temperatura Grados Celsius	60° C
Datos Químicos	
pH	7.6
Tipo de agua	Bicarbonatada
Información Relevante	
	
	

FUENTE: ELABORACION PROPIA

Tabla 11: Aguas Termales La Raya (UNSAAC)

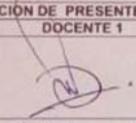
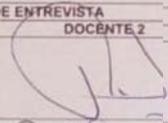
Denominación	Aguas Termales La raya (UNSAAC)
Tecnología	Balneología
Datos Físicos	
Surgencias	03
Ubicación	
Comunidad	La Raya
Distrito	Marangani
Provincia	Canchis
Departamento	Cusco
Altitud	4093 m.s.n.m.
Coordenadas: UTM	19 L, 278930E – 8393580N
Datos Termodinámicos	
Temperatura Grados Celsius	58.3 °C, 59.6 °C, 60.1 °C
Datos Químicos	
Ph	5.5
Tipo de agua	Sulfatada
Información Relevante	El acceso hacia las aguas termales se puede llegar mediante transporte automovilístico, tiene un tramo de 5.5.Km desde la universidad nacional san Antonio abad del cusco hasta dicho lugar
	
	

FUENTE: ELABORACION PROPIA

b. FICHA DE ENTREVISTAS

Figura 36: Ficha de entrevistas

ENTREVISTA DE RECURSOS GEOTERMALES		Nº
AGUAS CALIENTES DE		FECHA
FOTOGRAFIA 1	NOMBRE	
	ACCESO A LA ZONA	
	TEMPERATURA DE FUENTE	
FOTOGRAFIA 2	USO DE FUENTE	
	PROPIETARIO	

VALIDACIÓN DE PRESENTE FORMATO DE ENTREVISTA		
	DOCENTE 1	DOCENTE 2
FIRMA		
NOMBRE	Donat Mamani Pavi	D. Ronald Quera P de J.
CODIGO	10380	10227

FUENTE. Elaboración propia

c. INFORMES DE ANALISIS DE LABORATORIA

Figura 37: Informe de análisis químicos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONICABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224631 - Aartado Postal 921 - Cusco Perú

UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA
INFORME DE ANÁLISIS
100689-15-LAQ

SOLICITANTE: JUAN HERRERA YAÑEZ
JUAN DE DIOS JERI FLOREZ

MUESTRA : AGUAS TERMALES
1.- LARES p. 1ro, BALNEARIO Temperatura 44°C
2.- YAURISQUE
3.- CHOQUECANCHA SALVIAYOC Temperatura 79 a 80°C
4.- MACHACANCHA Temperatura 36°C

FECHA : C/03/11/2015

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

	1	2	3	4
pH	6.52	7.60	7.15	6.50
Cloruros ppm	1225.00	1260.00	478.00	793.15
Sulfatos ppm	308.20	66.40	104.60	904.00
Bicarbonatos ppm	1237.60	1170.00	782.00	326.00
Carbonatos ppm	0	0	0	0

Cusco, 10 de Noviembre 2015

Melgondin Herrera Arvelo
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO

FUENTE: LABARTORIO DE QUIMICA – UNSAAC

3.3.1. SELECCIÓN DE YACIMIENTOS DE ACUERDO A SU ENTALPIA EN LA REGION DE CUSCO

3.3.1.1. YACIMIENTOS DE MUY BAJA ENTALPIA

De acuerdo al marco teórico estudiado las fuentes de muy baja entalpia varía entre los 0°C a 30°C. Entonces en la tabla N°8, se muestra las fuentes mencionados por INGEMMET y encontradas, de igual forma se aprecia según su temperatura y pH (acides del agua).

Tabla 12: Yacimientos de muy baja entalpia

N°	FUENTE	LOCALIDAD	T° CELSIUS	PH
1	CCOYLLON PUJYO (COLEGIO)	CCORAO	15	5.6
2	CCOYLLOR PUJYO	CHOCCO	18	6
3	KCULLUPATA	KCULLUPATA	17	5.8
4	CHACCHURA	CHILLCHICANI	15.2	5.6
5	CCOMUPUJYO	PAMPAMARCA	17	6.1
6	CCACCATO	LAMAY	25	6.2
7	MINAS MOCO	MINAS MOCO	18	6
8	SAUCEDA	SAUCEDA	28	6.25
9	CCOLLPA-PAMPA	SANLKANTAY	28	6.4
10	CHILLCA	CHILLCA	19	6.1
11	CCOMUNTO	UCHULLUCLLO	25	6
12	POCCPOCCA	ACOPIA	17	6.1
13	SAN PEDRO Y SAN PABLO	SAN PEDRO	19	6
14	OCCURMINA	YANAOCA	22	6.4
15	MARCANI Y CAYLLA	SAN PEDRO	22	6.3
16	YAUROSQUE	PARURO	30.6	7.6

FUENTE: ELABORACIÓN: PROPIA

Grafico 2: Temperatura de las fuentes de muy baja entalpia

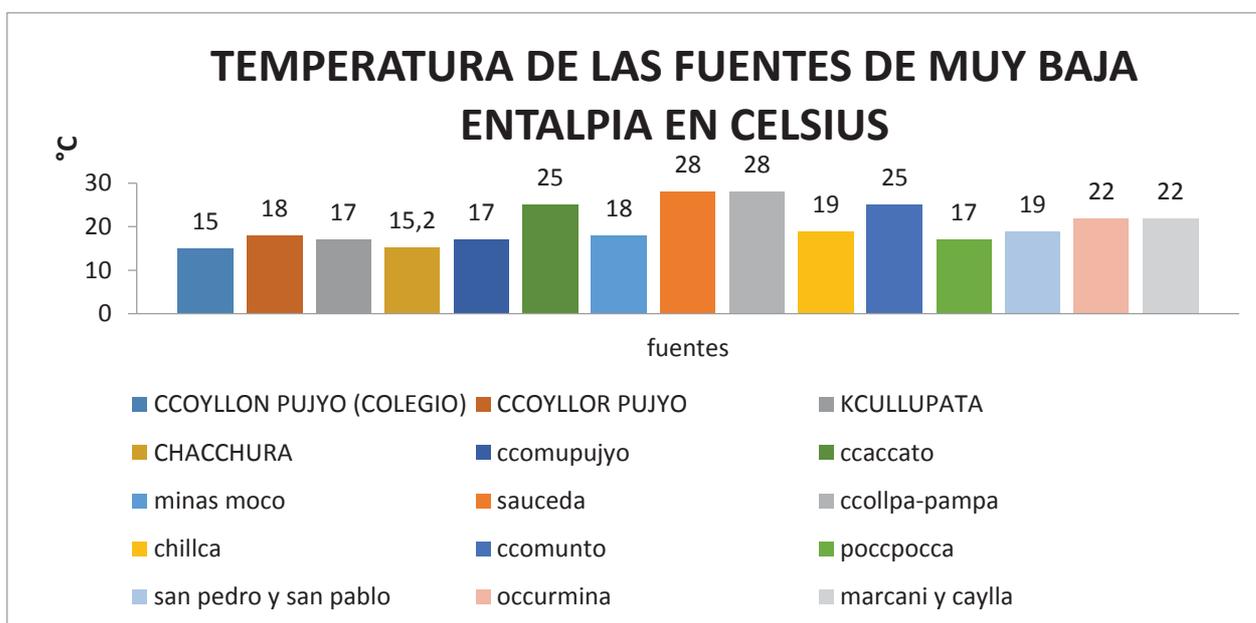
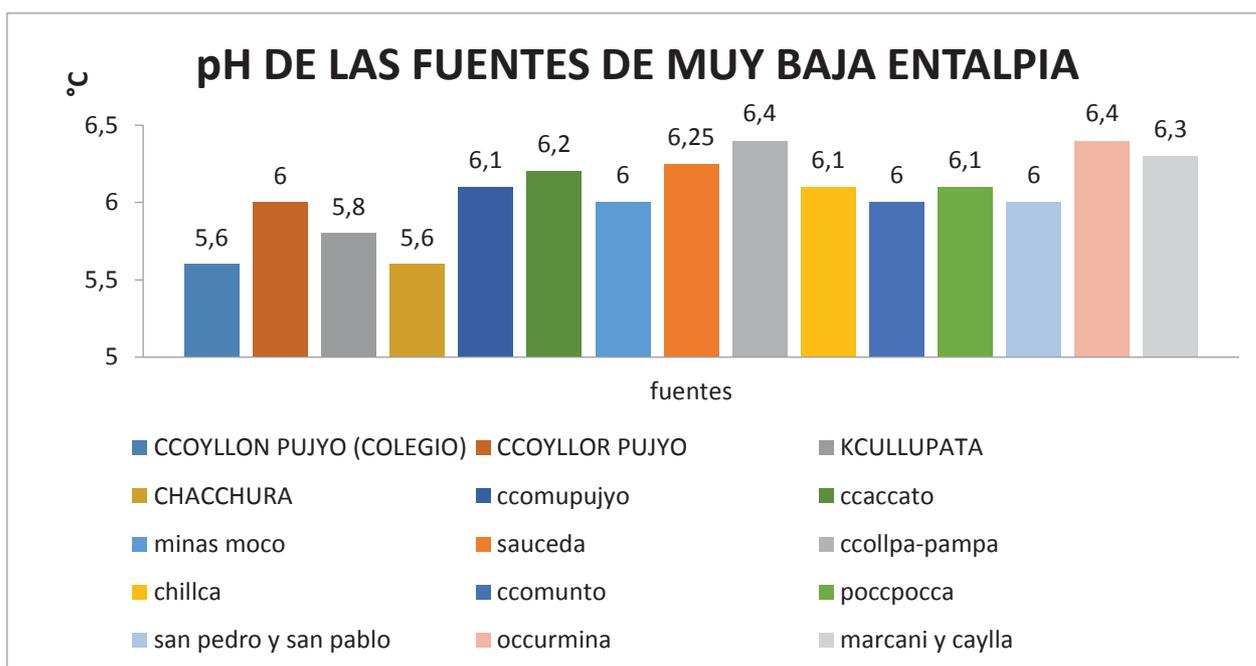


Grafico 3: pH de las fuentes de muy baja entalpia



3.3.1.2. YACIMIENTOS DE BAJA ENTALPIA

Según el marco teórico estudiado las fuentes de baja entalpia varía entre los 31° C a 90° C. En la tabla N°9, de la misma manera se aprecia las fuentes ubicadas según INGEMENT y de las nuevas fuentes encontradas por información de habitantes de la región del cusco, también se describe la evaluación realizada por su temperatura y pH (acides del agua).

Tabla 13: Yacimientos de baja entalpia

N°	FUENTE	LOCALIDAD	T° CELSIUS	PH
1	MACHACANCHA	MACHACANCHA	36	6.5
2	LARES	LARES	44	6.52
3	SALVIANNIYO 1	CHOQUECANCHA	80	7.15
4	CHIMUR	CHIMUR	49	7.45
5	LA RAYA (UNSAAC)	LA RAYA	60.1	6.52
6	LA RAYA (OCCOBAMBA)	LA RAYA	57	7.34
7	OYURMIRI	PATANSA	38.4	7.06
8	PACCHANTA	TINKE	58	6.3
9	UPIS	TINKE	80	6.65
10	PAMPACANCHA	PAMPACANCHA	45	6.95
11	MARCAPATA	VALLOS	60	7.6
12	COCALMAYO	COCALMAYO	44	7
13	AGUAS CALIENTES	MACHUPICCHU	39	6.4
14	CHUCCHO	CHILLIGUANI	41.1	6.4
15	ALCA VICTORIA	ALCA VICTORIA	60	7.6

FUENTE: ELABORACION PROPIA

Grafico 4: Temperatura de las fuentes de baja entalpia

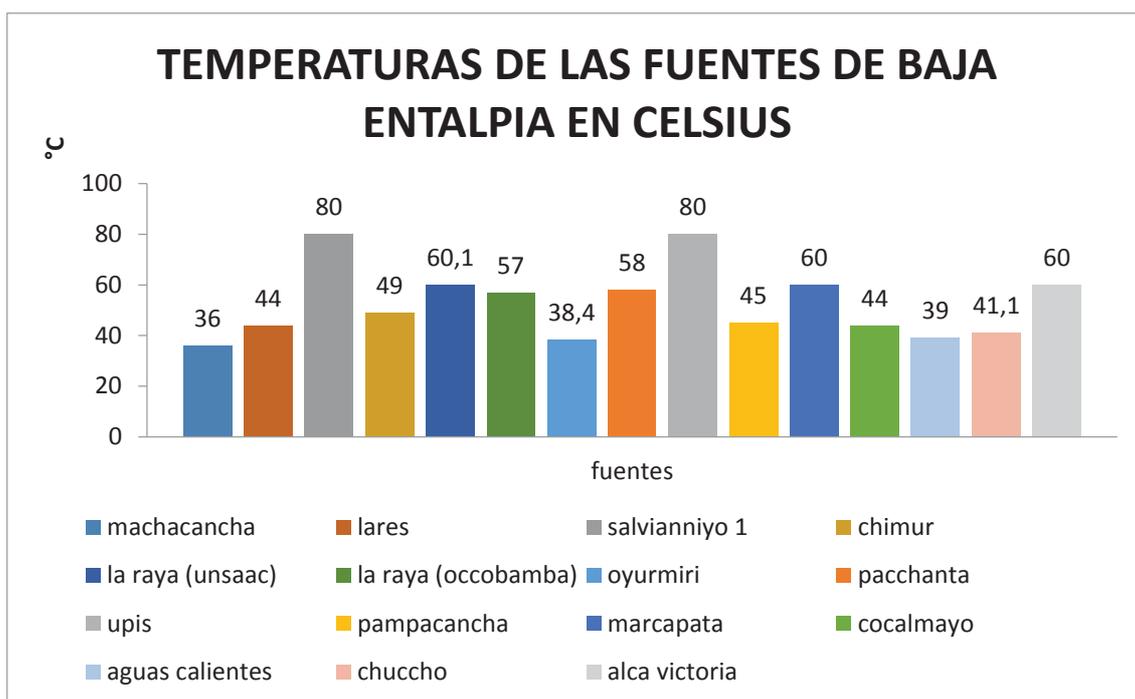
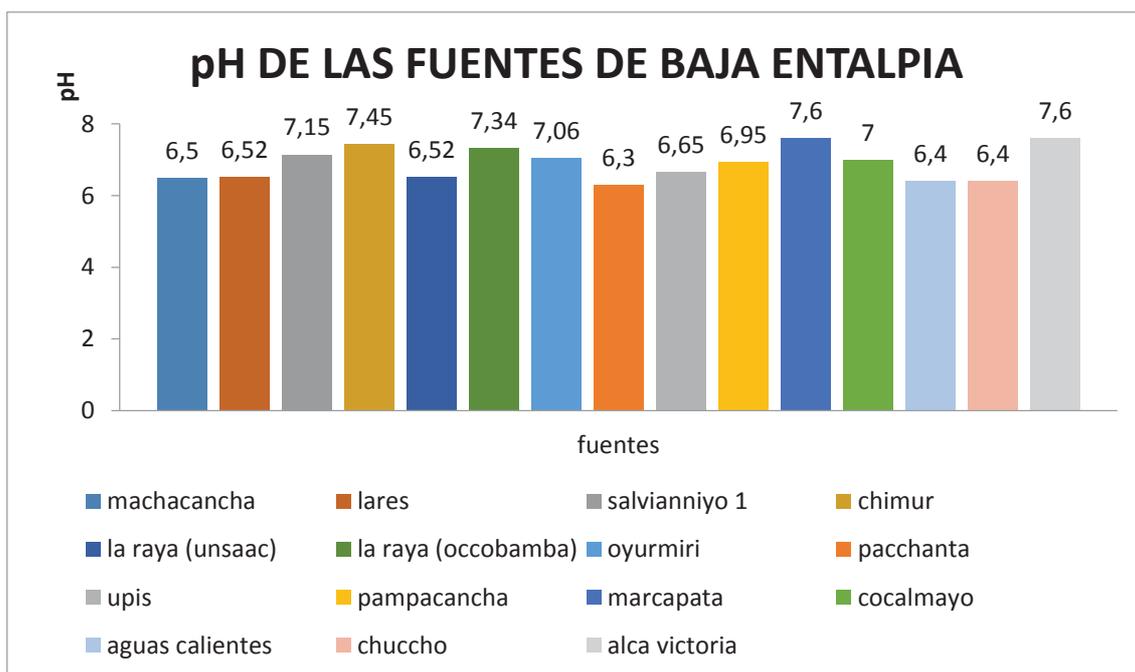


Grafico 5: pH de las fuentes de baja entalpia



3.3.1.3. YACIMIENTOS DE MEDIA TEMPERATURA

Tabla 14: Yacimientos de media temperatura

N°	FUENTE	LOCALIDAD	T° CELSIUS	PH
1	SALVIANNIYO 2	CHOQUECANCHA	90.8	7.15
2	KUCHIPELANA	BAÑOS (MARCAPATA)	89.0	8
3	UPIS	TINKE	90.2	6.65

FUENTE: ELABORACION PROPIA

Grafico 6: Temperaturas de las fuentes de media entalpia

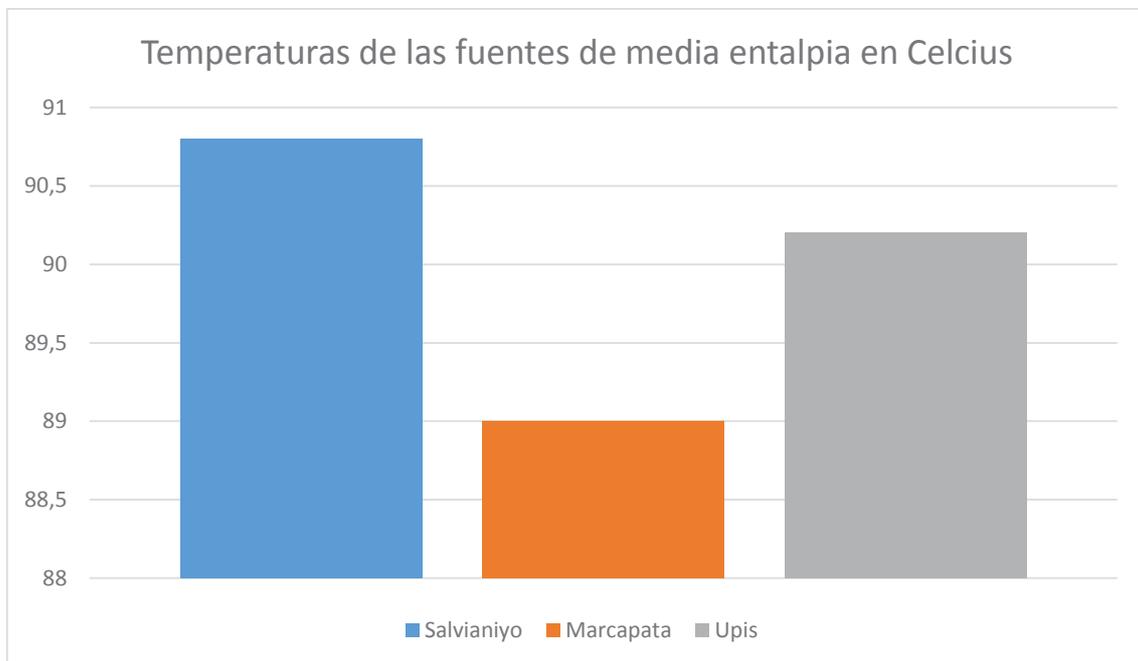
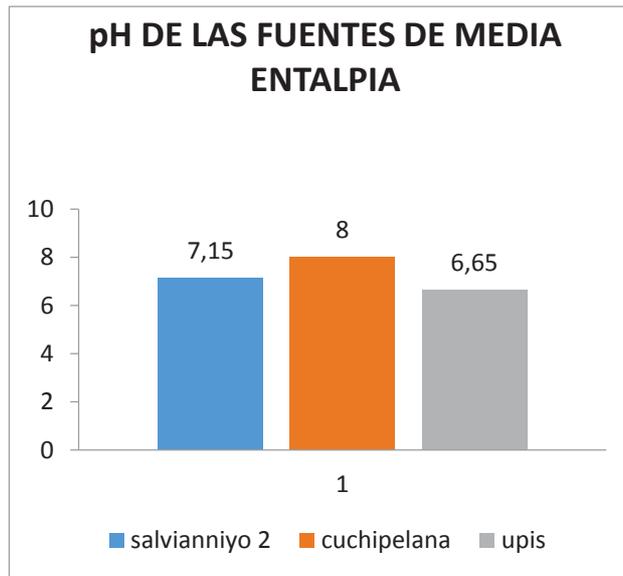


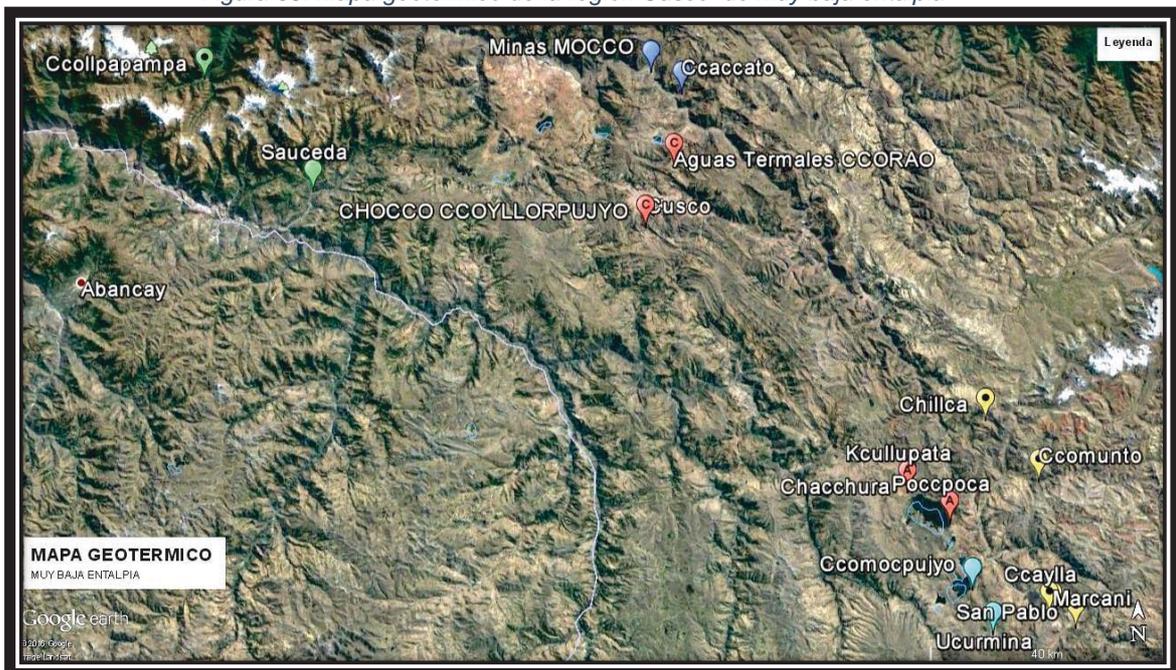
Grafico 7: pH de las fuentes de media entalpia



3.4. MAPA GEOTERMICO DE LA REGION CUSCO

a. MAPA GEOTERMICO DE LA REGION CUSCO DE MUY BAJA ENTALPIA

Figura 38: Mapa geotérmico de la región Cusco de muy baja entalpia



FUENTE: GOOGLE EARTH

b. MAPA GEOTERMICO DE LA REGION CUSCO DE BAJA ENTALPIA

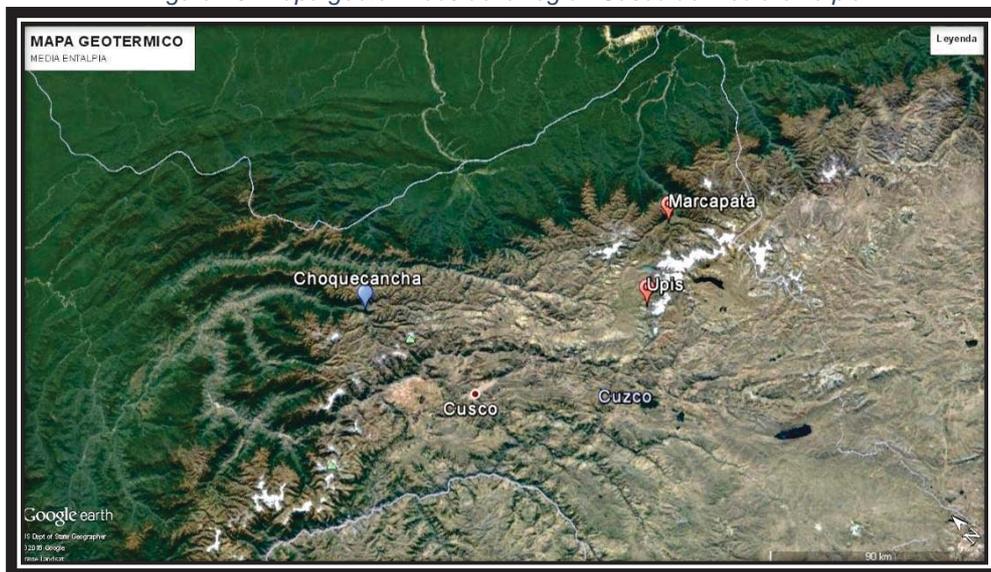
Figura 39: Mapa geotérmico de la región Cusco de baja entalpia



FUENTE: GOOGLE EARTH

c. MAPA GEOTERMICO DE LA REGION CUSCO DE MEDIA ENTALPIA

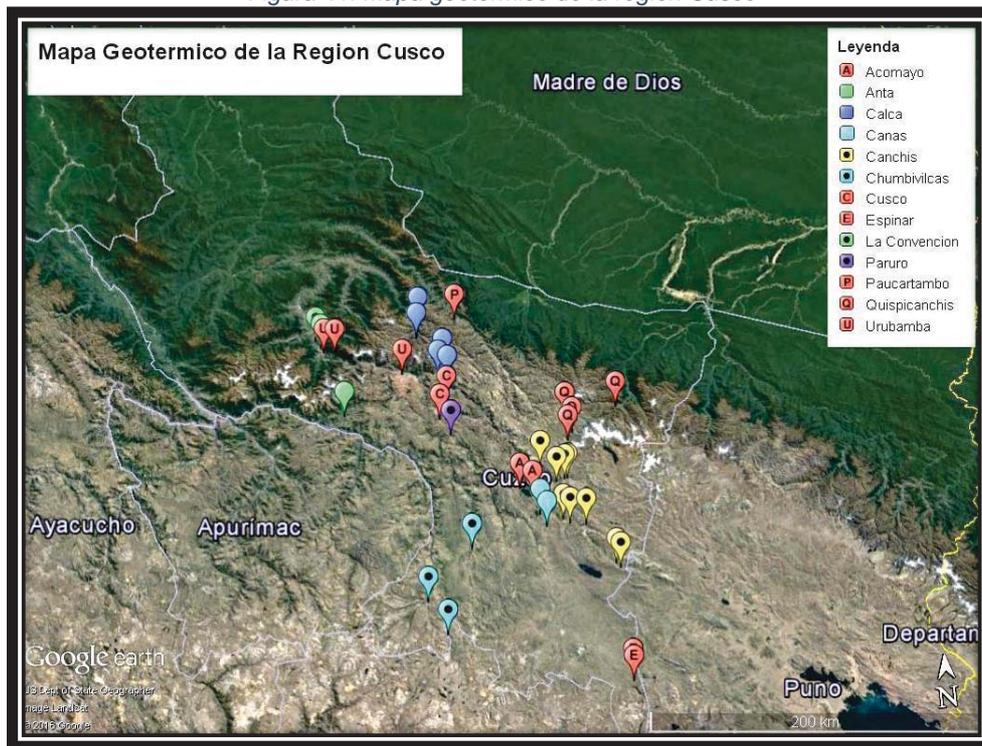
Figura 40: Mapa geotérmicos de la región Cusco de media entalpia



FUENTE: GOOGLE EARTH

d. MAPA GEOTERMICO DE LA REGION CUSCO

Figura 41: Mapa geotérmico de la región Cusco



FUENTE: GOOGLE EARTH

3.5. CUADRO DE YACIMIENTOS GEOTERMICOS DE LA REGION CUSCO

n°	Nombre de Yacimiento	Localidad	Distrito	Provincia	Coordenadas UTM	Altitud m.s.n.m.	N° de Surgencias	Parámetros Físicos		Tipo de agua	Q (Lt./S)
								T° (°C)	ph		
1	Ccoyllorpujyo	Cchoco	Santiago	Cusco	19 L, 178492 E 8497685 N	3499	01	22			
			San Sebastián		19 L, 183545 E 85068340 N	3570	02	15			
3	Aguas Minerales Kcullupata	Kcullupata	Sangarara	Acomayo	19L, 223003 E 8451511 N	3655	01	17	5.8	Bicarbonatada	8
			Sangarara			3650	01	15.2	5.8		
5	Aguas Minerales Poccpoca	Wairachapi	Acopia		19L, 230176 E 8446207 N	3677	02	17.3	6.1	Sulfatada	4
6	Aguas Termales de Saucedá	Sauceda	Limatambo	Anta	19L, 218624 E 8526158 N	2359	02	32	6.2	Clorurada	0.5
								28	5		
7	Choquecancha (Salvianniyoc)	Salvianniyoc Choquecancha	Lares	Calca	18L, 821326 E 8558355 N	2681	02	80	7.1	Bicarbonatada	2
								90.8	5		
8	Baños Termales Lares	Lares	Lares	Calca	18L, 819460E 8548802N	3246	04	40	6.5	Bicarbonatada	5
								38.3	2		
9	Baños Termales Machacancha	Machacancha	Calca		19L, 183145E 8531369N	3387	01	32	6.5	Sulfatada	1

10	Aguas Minerales Minasmocco	Minasmocco	Calca	Calca	19L, 179828E 8524647N	2930	01	18	6.0	Clorurada	1
11	Aguas Geomedicinal Ccaccato	Caccato	Lamay	Lamay	19L, 185095E 8520947N	3024	01	25	6.2	Sulfatada	1
12	Aguas Minerales Ccomopuquio	Caranta	Pampamarca	Pampamarca	19L, 233808E 8434806N	3793	01	17	6.1	Sulfatada	15
13	Uccurmina Colegio	Yanaoca Colegio	Yanaoca	Yanaoca	19L, 237236 E 8427354 N	3830	01	22	6.4	Sulfatada	3
14	Aguas Minerales Chillca	Pitumarca	Pitumarca	Pitumarca	19L, 236513 E 8463769 N	4265	01	19	6.1	Sulfatada	2
15	Aguas Termales Phatana	Uchulluclo	Pitumarca	Pitumarca	19L, 252187 E 8454701 N	3853	01	32	6.2	Sulfatada	1
16	Aguas Termales Uchulluclo	Uchulluclo	Pitumarca	Pitumarca	19L, 250479 E 8455377 N	3850	01	32	6.3	Clorurada	3
17	Aguas Termales Ccomunto	Uchulluclo	Pitumarca	Pitumarca	19L, 255416 E 8453220 N	3775	01	25	6	Sulfatada	3
18	Aguas Medicinales San Pablo	San Pablo	San Pablo	San Pablo	19L, 251246 E 8428189 N	3508	01	19	6	Clorurada	2
19	Aguas Termales Uyurmiri	Patanza	Sicuani	Sicuani	19L, 276567E 8401334N	3752	02	38 38.4	7.0 6	Bicarbonatada	1

20	Aguas Termales La Raya (Ocobamba)	Ocobamba	Marangani	Canchis		19L, 279236E 8399615N	4033	05	50.2 57	7.3 4	Sulfatada	5
21	Aguas Termales La Raya (UNSAAC)	La Raya	Marangani	Canchis		19L, 278930E 8393580N	4093	02	58.3 60.1	5.5 2	Sulfatada	6
22	Aguas Termales Marcani	Llacta Orco	San Pedro	Canchis		19L, 247383 E 8430549 N	3512	01	22	6.3	Clorurada	3
23	Aguas Minero Medicinales Ccaylla	Lacta Orco	San Pedro	Canchis		19L, 247682 E 8430635 N	3500	01	22	6	Clorurada	5
24	Allca Victoria	Allca Victoria	Velille	Chumbivilcas		18L, 817949E 8368191N	4031	05	53.7 60	7.6		
25	Callicanto	Calicanto	Chamaca	Chumbivilcas		19L, 190860E 8417808N	3430	02	45 47	6.8		
26	Chucchu	Chilliguani	Santo Tomas	Chumbivilcas		18L, 808447E 8388991N	3644	01	41.1	6.4		
27	Llusco	Llusco	Lluscco	Chumbivilcas		18L, 811218 E 8413725 N	3496	01				
28	Ranrapata	Cerro Ranrapata	Llusco	Chumbivilcas		18L, 808297 E 8387295 N	3788	01				

29	Aguas Calientes Rio Jaruma	Chaqueylla	Palpata	Espinar	19L, 280163 E 8334571 N	4100	01	51	6.4	Clorurada	3
30	Aguas Calientes Chaqueylla	Chaqueylla	Palpata	Espinar	19L, 280288 E 8330699 N	4095	02	51.2 57	6.6 6.4	Clorurada	3 2
31	Quellomayo (Sin Acceso)	Quellomayo	Santa Teresa		18L, 757602 E 8553792 N	1430	01	52	6.5		3
32	Uripipata (Cocalmayo)	Uripipata	Santa Teresa	La Convención	18L, 760178E 8594454N	1412	03	37 34	7	Clorurada	2
33	Ccollpapampa	Salkantay	Santa Teresa		2730					Desaparecido	
34	Yanatitle	Antiguo Pueblo Yanatitle	Santa Teresa		2050					Desaparecido	
35	Paccaymayo	Paccaymayo	Santa Teresa		1215					Sin acceso	
36	Aguas Termales Yaurisque	Yaurisque	Yaurisque	Paruro	19L, 184345E 8487201N	3352	02	22 30.6	7.6	Clorurada	
37	Aguas Termales Ccahuaymayo	Chimur	Challabamba	Paucartambo	19L, 218621E 8526166N	2282	03	49 47	7.4 5	Bicarbonatada	3

38	Baños Termales Pampacancha	Pampacancha	Ocongate	19L, 254117E 8491859N	3951	01	45	6.9 5	Bicarbonatada	1
39	Baños Termales Pacchanta	Pacchanta Tinke	Ocongate	19L, 257573E 8482391N	4320	03	58 50	6.3	Clorurada	3
40	Baños Termales Upis	Upis Tinki	Ocongate	19L, 254680E 8477726N	4472	03	90.8 80	6.6 5	Clorurada	4
41	Baños Termales Marcapata	Marcapata Baños	Marcapata	19L, 285565E 8495577N	3012	06	91.2 60	7.6	Bicarbonatada	2
42	Collpani	Collpani	Machupicchu	18L, 761929 E 8545095 N	1640	01	42	6.1	Clorurada	0.5
43	Aguas Calientes Machupicchu	Machupicchu	Machupicchu	18L, 768696 E 8544861 N	2170	01	39	6.4	Clorurada	1
44	Salineras Maras Pichingoto	Maras	Maras	18L, 808311 E 8527557 N	2960	01	31	6.4	Clorurada	8

CAPITULO IV
4. ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS

4.1. GENERALIDADES

De acuerdo a lo establecido en el primer capítulo, se procede a la recolección de datos, sin perder la concepción de la operacionalidad de la Hipótesis, donde se observa las diversas variables e indicadores conducentes a su verificación. En la tabla 12 se observa la Matriz de operacionalidad de las Variables.

Tabla 15: Operacionalización de las variables

VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	EVIDENCIAS	METODO
PROSPECCION DE LOS RECURSOS GEOTERMICOS	UBICACIÓN DE LOS RECURSOS GEOTERMICOS	DATOS INSTITUCIONALES	Tablas Bibliográficas	Investigación Bibliográfica
			Tablas de Región Cusco	I Bibliográfica
		GOOGLE EARTH	Fotografías satelitales	I Exploratoria
		MAPAS	Mapas y visitas	I Bibliográfica
		ENTREVISTAS	Fichas de entrevistas	I Descriptiva
	PUNTOS DE AFLORAMIENTO	VISITA FOTOS	Fotografías	I Exploratoria
		VISITA VIDEOS	Videos	I Exploratoria
		GPS	Ficha Técnica	I Exploratoria
		ENTREVISTA	Ficha de Entrevistas	I Descriptiva
	POTENCIAL ENERGETICO	TIPO DE AGUA	ANALISIS DE LABORATORIO	Actas de pruebas
pH		ANALISIS DE LABORATORIO	Actas de pruebas	I Descriptiva
TEMPERATURA		PIROMETRO	Ficha Técnica	I Descriptiva
APLICACIONES TECNOLOGICAS	ESCALA ENERGETICA	BIBLIOGRAFIA	Tablas estadísticas	I Descriptiva

Inicialmente se consideró trabajar con muestras; sin embargo por considerar una cantidad pequeña, dentro de la Región Cusco, decidimos trabajar con el universo de las fuentes geotermales, cantidad especificada por otras instituciones.

Es importante señalar que se preparó un plan de visitas a todas las localidades donde afloran los recursos geotermales. Este hecho fue tangibilizado con fotografías y videos.

La contrastación de la Hipótesis mediante la variable de Reconocimiento de los Recursos Geotérmicos, se verifica mediante los siguientes indicadores e instrumentos:

1. DATOS REFERENCIALES

Mediante las tablas elaborados de acuerdo a la información bibliográfica

2. FOTOGRAFIAS SATELITALES

Adquiridos por cortesía de Google Earth

3. MAPAS POLITICOS

Recopilados de las municipalidades, la región y las ofrecidas virtualmente por Google.

4. ENTREVISTAS A USUARIOS

Conversaciones directas durante nuestros viajes.

5. DATOS DE TEMPERATURA

En las fuentes se recopilo datos de temperatura mediante pirómetros, datos que se incorpora en las respectivas fichas técnicas.

6. UBICACIÓN EN SISTEMA UTM MEDIANTE GPS

Se toma datos de ubicación mediante instrumento de GPS, logrando valores de UTM como también la altitud de cada fuente. Estos datos se compilan en anexos y en las fichas técnicas.

7. TOMA DE MUESTRAS

En cada fuente de recursos geotérmicos se colecciono una muestra de agua que fue conducido a los Laboratorios de la Universidad Nacional de San Antonio abad del Cusco para su respectivo análisis.

8. ANALISIS DE LABORATORIO

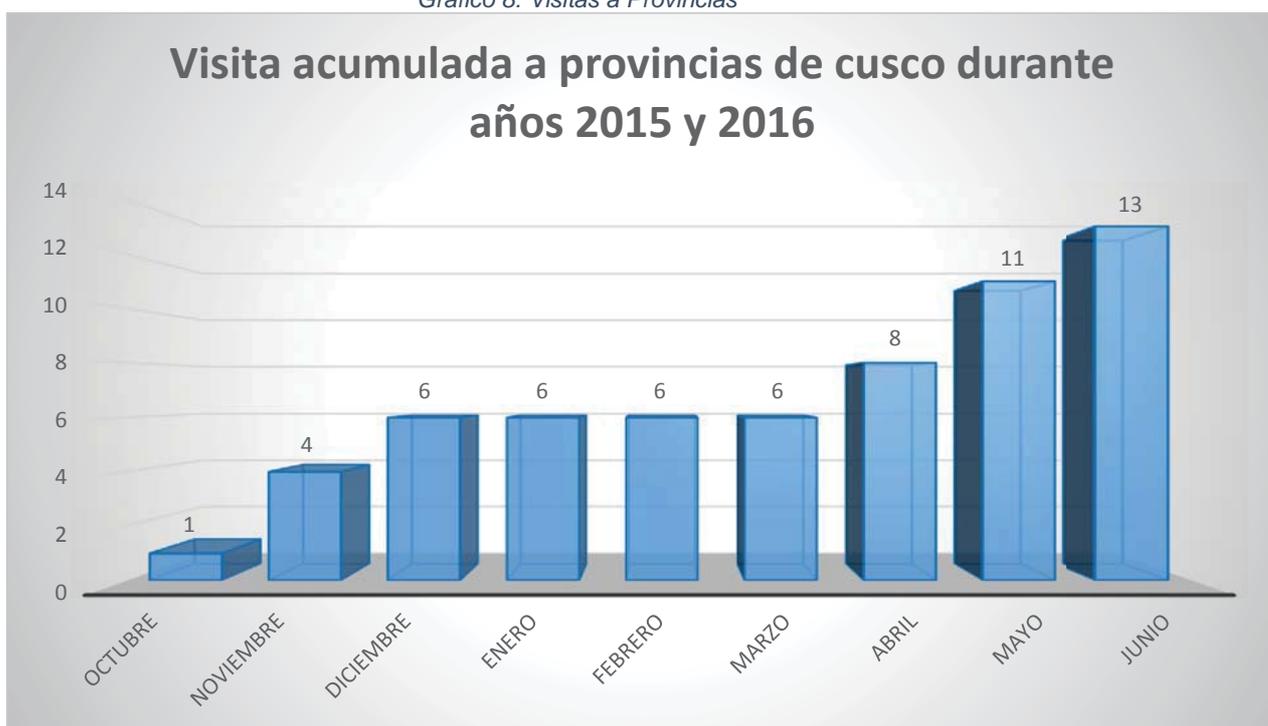
En Laboratorio de ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Antonio abad del Cusco, se procedió al análisis respectivo, que se plasmó en sendas Actas de análisis que se acompaña en el presente Volumen.

4.2. ANALISIS DE DATOS

Con los datos obtenidos, llevados a sendas tablas, y con la dirección de los niveles exploratorio, descriptiva e investigación bibliográfica se procesa estos datos y logrando verificar estas variables.

4.3. PROVINCIAS VISITADAS

Grafico 8: Visitas a Provincias



FUENTE: Elaboración propia

Se visitó las provincias, considerando la existencia de por lo menos una fuente de recursos geotérmicos. Todas las provincias de Cusco cuentan con por lo menos una fuente de recursos geotérmicos.

4.4. YACIMIENTOS GEOTERMALES VERIFICADOS

Tabla 16: Yacimientos - INGEMMET

Nº	Yacimientos - INGEMMET	Provincia
1	SAUCEDA	ANTA
2	UCCURMINA	CANAS
3	CCACCATU	CALCA
4	MACHACANCHA	
5	LARES	
6	CHOQUECANCHA	
7	LA RAYA	CANCHIS
8	UYURMIRE	
9	PAHTANA	
10	UCHULLUCLLO	
11	CCOMUNTO	
12	CHAQUEYLLA	ESPINAR
13	JARUMA	
14	AGUA TERMAL (PALLPATA)	LA CONVENCION
15	URPIPATA	
16	CCOLPAPAMPA	
17	YANATILE	

18	QUELLOMAYO	
19	CAHUAYMAYO	PAUCARTAMBO
20	PACCHANTA	QUISPICANCHIS
21	PAMPACANCHA	
22	MARCAPATA	
23	MACHUPICCHU	URUBAMBA
24	COLLPANI	

FUENTE: INGEMMET

Tabla 17: Yacimientos Visitados

Nº	Yacimientos ubicadas en nuestras visitas	PROVINCIA
1	SAUCEDA	ANTA
2	KCULLUPATA	ACOMAYO
3	CHACCHURA	
4	POCCPOCA	
5	CCOMUPUJYO	CANAS
6	UCCURMINA	CALCA
7	CCACCATO	
8	MACHACANCHA	
9	LARES 1	
10	LARES 2	
11	MINAS MOCCO	
12	CHOQUECANCHA	CANCHIS
13	LA RAYA UNSAAC	
14	LA RAYA OCCOBAMBA	
15	UYURMIRI 1	
16	UYURMIRI 2	
17	PAHTANA	
18	UCHULLUCLLO	CHUMBIVILCAS
19	CCOMUNTO	
20	CHUKCHO	
21	ALLCA VICTORIA 1	
22	ALLCA VICTORIA 2	
23	RANRAPATA	
24	CALICANTO	CUSCO
25	CHOCCO	
26	CORAO	ESPINAR
27	PALLPATA	
28	RIO JARUMA-CHAQUELLA	
29	TTURO (Suykutambo)	LA CONVENCION
30	COCALMAYO	
31	COLLPAPAMPA	
32	YANATILE	
33	QUELLOMAYO	PARURO
34	YAUQUISQUE	
35	CHIMUR	PAUCARTAMBO
36	PACCHANTA	QUISPICANCHIS
37	UPIS	

38	PAMPACANCHA	
39	MARCAPATA 1	
40	MARCAPATA 2	
41	MARCAPATA 3	
42	MARCAPATA 4	
43	MACHUPICCHU	URUBAMBA
44	COLLPANI	

FUENTE: Elaboración propia

Con estos datos podemos indicar que la información proporcionado por INGEMMET, por causas de otra índole, no es similar a la nuestra que solo tienen una ventaja, por ser con visitas actualizadas durante los meses de octubre 2015 hasta julio de 2016.

Mientras INGEMMET proporciona 24 fuentes, nosotros hemos visitado 44 fuentes.

Mientras INGEMMET establece 9 provincias con recursos geotermales, nosotros consideramos que por lo menos existe una fuente por provincia en toda la Región Cusco.

4.5. YACIMIENTOS NO UBICADOS

De acuerdo con los datos de INGENMET debería existir fuentes termales en Suykutambo, Espinar, como también en Santa Teresa La Convención

4.5.1. CASO DE SUYKUTAMBO

El 5 de diciembre de 2011, se publicó la Resolución Directoral N° 099 – 2011 aprobado con fecha Lima 25 de noviembre de 2011, otorgando la autorización a favor de Hot Rock SA para desarrollar la actividad de exploración de recursos geotérmicas en la zona denominada Turu: en Arequipa (Caylloma) y Cusco (Espinar)

Por otro lado las personas entrevistados en Suykutambo de Espinar, no conocen los recursos geotermales en la zona; sin embargo reconocen estas fuentes, exactamente 3 en la provincia de Caylloma en Arequipa. Asimismo indican no conocer actividades algunas de la Empresa Hot Rock.

En la zona de Suykutambo, Espinar no se ubicó fuente geotérmica alguna, sin embargo por razones de concesión otorgado por el Ministerio de Energía y Minas, pudimos apreciar afloramientos en la Provincia de Caylloma Arequipa. No

se aprecia trabajos de la empresa concesionaria motivo por lo que la información es limitada.

Finalmente amigos de la empresa minera Ares en Arequipa, mediante correo electrónico, ratifican que no existen recursos geotérmicos a la vista en la zona de Suykutambo.

Por lo tanto no se encontró en la zona de Suykutambo recurso geotérmico alguno.

4.5.2. CASO DE SANTA TERESA

De la misma manera que fue golpeado en varias oportunidades los baños de Cocalmayo, existen dos fuentes que fueron aniquiladas.

El yacimiento del recurso geotérmico de Ccollpapampa fue eliminada por un mal asesoramiento en la gestión comunal, que con el deseo de incrementar el recurso y utilizando material explosivo, lograron que desapareciera dicho afloramiento.

Las lluvias en 2001 fueron intensas en esta zona produciendo deslizamientos en gran envergadura, teniendo como resultado que la fuente geotermal en Yanatile, Quellomayo y Paccaymayo fueron cubiertos totalmente y en la actualidad continua en esta condición.

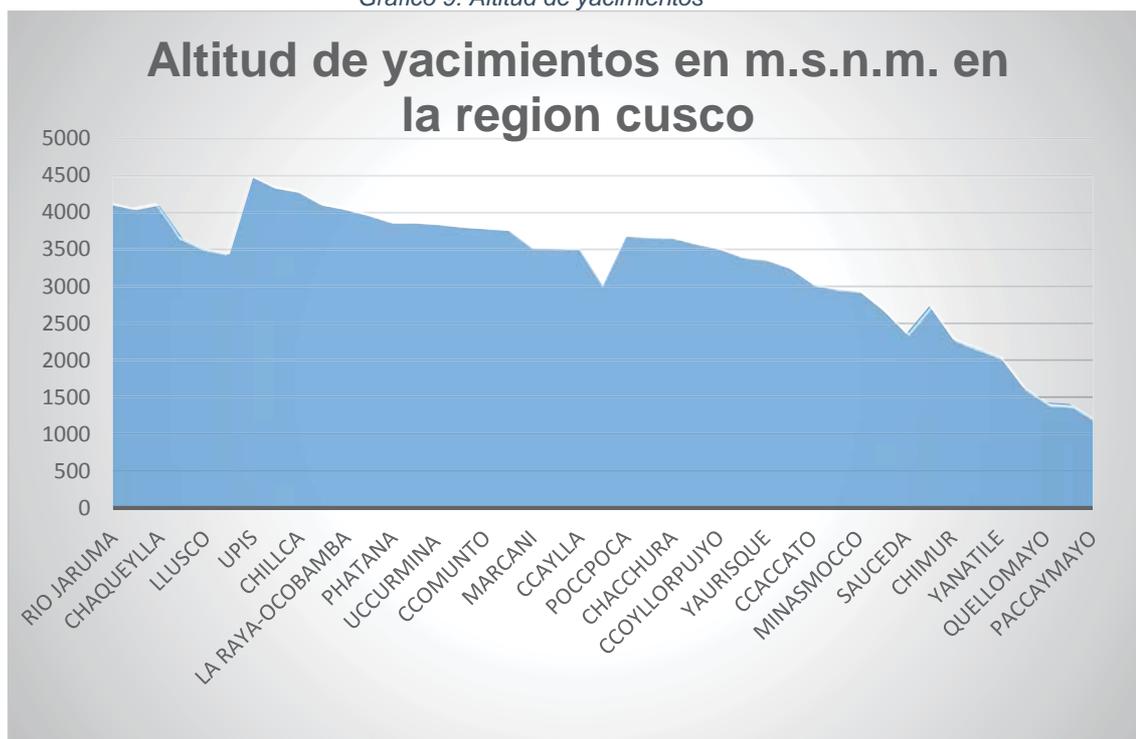
En Santa Teresa hubo afloramientos que por mala gestión o clima desbastador desaparecieron dos afloramientos.

De la lista inicial, entonces se afirma que tres zonas de afloramiento actualmente no fueron ubicados a pesar de que es natural que los recursos se encuentren en el interior terrestre.

4.6. ALTITUD DE LOS YACIMIENTOS

Con sistema GPS se determinó la ubicación de los yacimientos en la Región Cusco, y asimismo la altitud de metros sobre el nivel de mar.

Grafico 9: Altitud de yacimientos



FUENTE: Elaboración propia

Los yacimientos se encuentran dentro de un panorama vial adecuado y la mayoría en el entorno de carreteras asfaltadas y la altitud es variable entre 1000 msnm y 4500 msnm.

4.7. PROPIETARIOS DE LOS RECURSOS GEOTERMICOS

Tabla 18: Propietarios de los Yacimientos

Nº	YACIMIENTO	PROVINCIA	PROPIETARIO
1	UCURMINA	CANAS	COLEGIO
2	LA RAYA	CANCHIS	UNSAAC
3	ALLCA VICTORIA	CHUMBIVILCAS	PARTICULAR
4	MARCAPATA	QUISPICANCHIS	PARTICULAR
5	UPIS (3 yacimientos)	QUISPICANCHIS	PARTICULAR
6	COLLPANI	URUBAMBA	LUZ DEL SUR

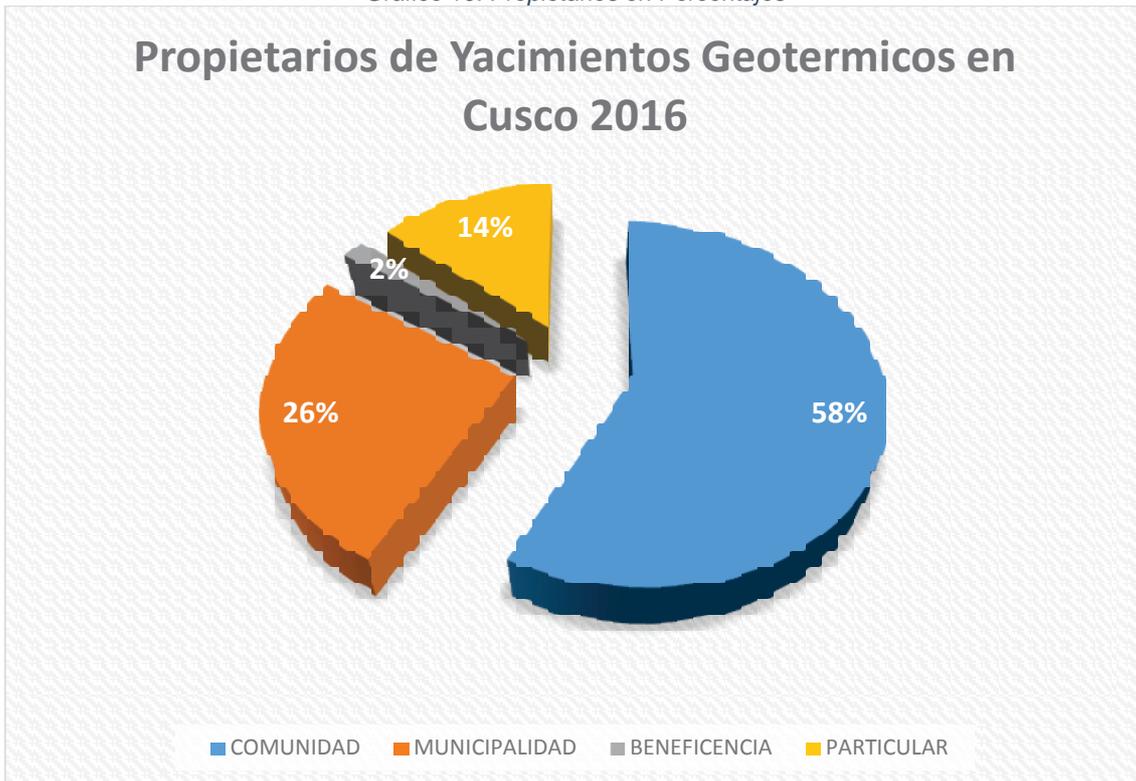
FUENTE: Elaboración propia

Tabla 19: Resumen de Propietarios de Yacimientos

FUENTE: Elaboración propia

Nº	PROPIETARIO	CANTIDAD	OBSERVACION
1	PARTICULAR	8	
2	MUNICIPALIDAD	15	
3	BENEFICIENCIA	1	
4	COMUNIDAD	33	
5	NO ENCONTRADOS	4	No existen y cubiertos por efectos climáticos los cuales eran de propiedad comunal
	TOTAL	61 MANANTIALES DE 44 YACIMIENTOS	

Grafico 10: Propietarios en Porcentajes



FUENTE: Elaboración propia

Importante conocer que el 58 % de los yacimientos geotérmicos se encuentran administrados por la Comunidad correspondiente, mientras que el 26 % estén gestionados por la Municipalidad y 8 yacimientos, 14 % se encuentran en territorio particular, con acceso del público, excepto el de Collpani que es estrictamente privado.

4.8. TIPO DEL AGUA

Como resultado del análisis químico de aguas se tipifica de la siguiente manera:

- **Agua Bicarbonatada:** Cuando el contenido en bicarbonatos es superior a 600 mg/l de bicarbonato-

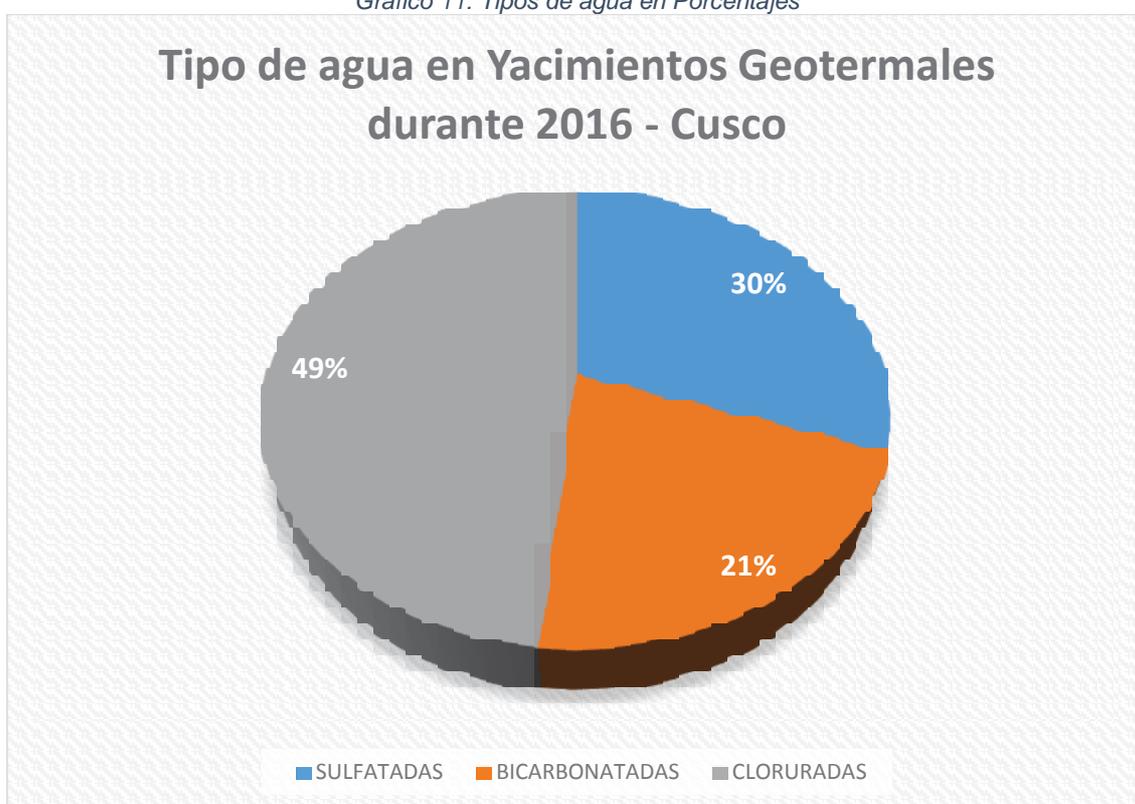
- **Agua Sulfatada:** Cuando el contenido en sulfatos es superior a 200 mg/l. de sulfato.
- **Agua clorurada:** Cuando el contenido en cloruros es superior a 200 mg/l. de cloruros.

Tabla 20: Cantidad por tipo de agua

Nº	TIPO DE AGUA	CANTIDAD
1	BICARBONATADA	7
2	SULFATADA	10
3	CLORURADA	16

FUENTE: Elaboración propia

Grafico 11: Tipos de agua en Porcentajes

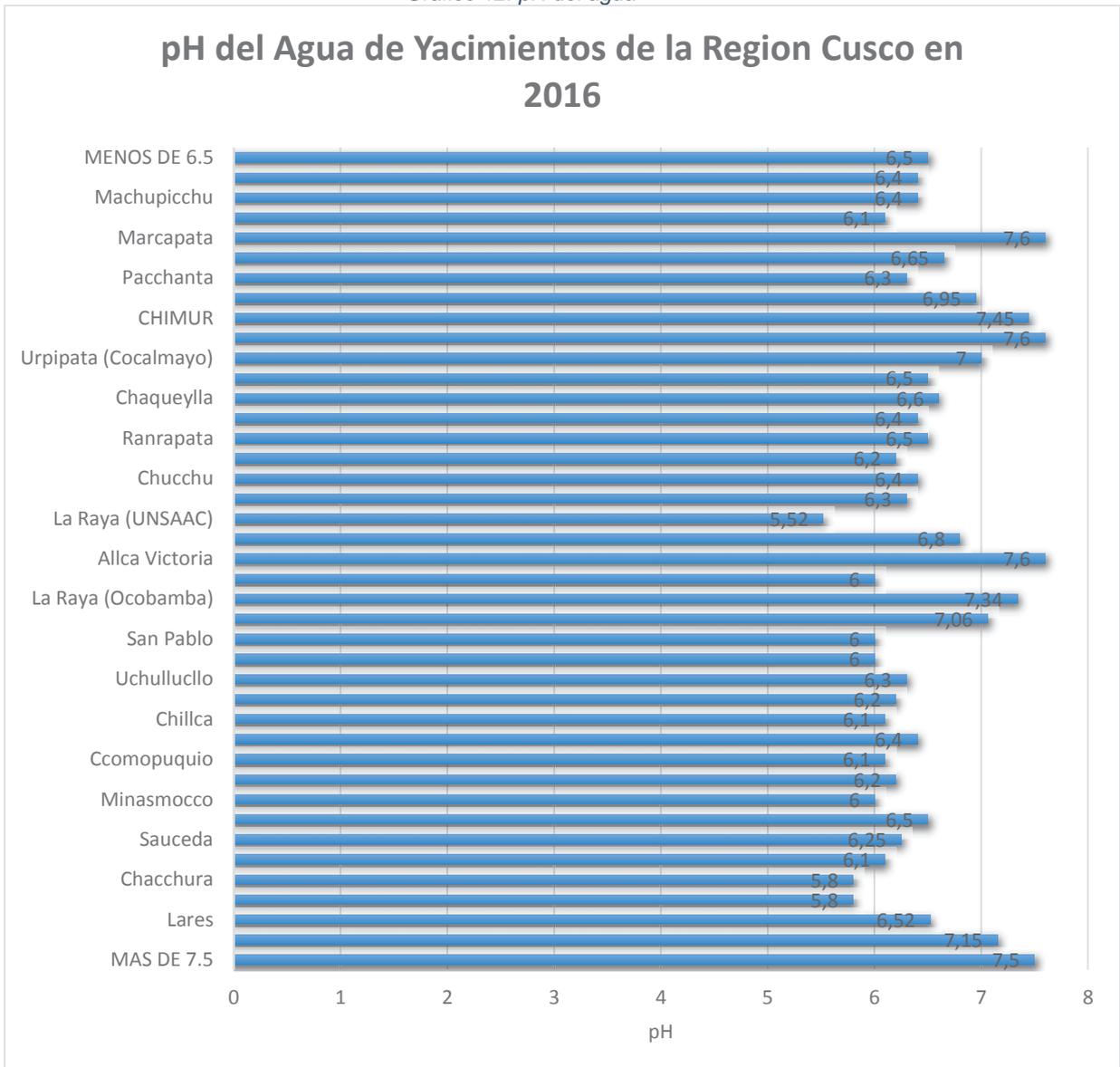


FUENTE: Elaboración Propia

De este grafico se resume que el 49 % es de tipo cloruradas, el 30 % es de tipo sulfatada y un 21 % de tipo bicarbonatada.

4.9. pH del agua

Grafico 12: pH del agua

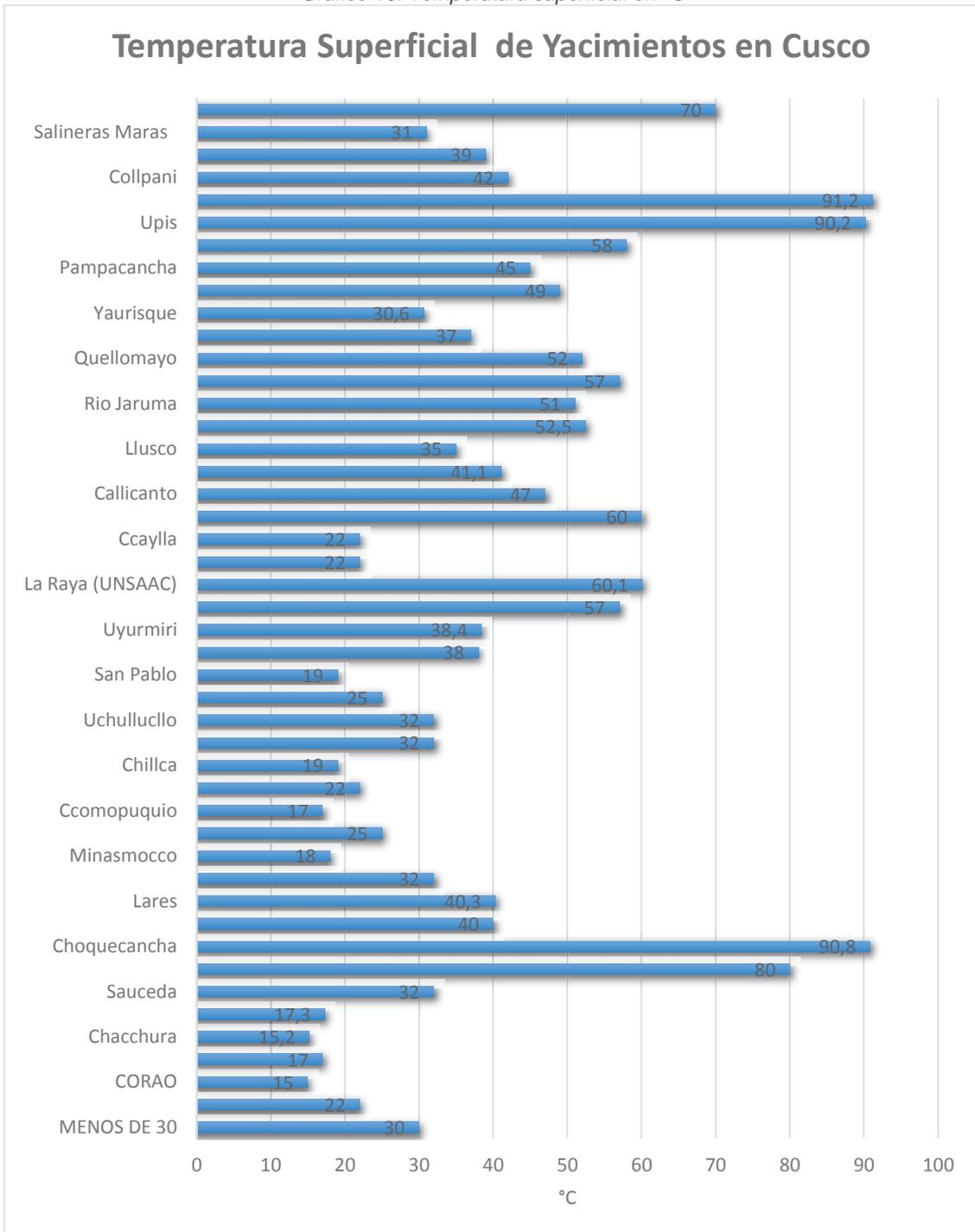


FUENTE: Elaboración propia

Conocido el pH del agua podremos determinar los yacimientos adecuados para la generación de energía eléctrica. Los valores aceptables del pH están entre 6.5 y 7.5 y logramos identificar los yacimientos de Choquecancha, Lares, Uyurmire, La Raya Allca Victoria, Calicanto, Chaqueylla, Cocalmayo, Yaurisque, Chimur, Pampacancha, Upis y Marcapata. Alcanzamos 13 yacimientos

4.10. TEMPERATURA SUPERFICIAL

Grafico 13: Temperatura superficial en °C



FUENTE: Elaboración propia

La temperatura superficial es un buen indicador para el proyecto de una central geotérmica y en nuestra exploración de los yacimientos geotermales en la Región Cusco determinamos cuatro que superan los 70°C: Dos en Choquecancha, Upis, y Marcapata.

4.11. VALIDACION DE LAS VARIABLES

4.11.1. PRIMERA VARIABLE

➤ PROSPECCION DE LOS RECURSOS GEOTERMICOS

Con sus indicadores e instrumentos se analizó los datos obtenidos, determinando:

- a. Ubicación de los yacimientos y sus surgencias, utilizando sistemas de GPS, Coordenadas UTM que fueron tangibilizados en las tablas respectivas que incluye adicionalmente fotografías en cada caso. Se encontró por lo menos un yacimiento por provincia, finalmente mucho más yacimientos que los establecidos inicialmente de las tablas de referencia.

Validamos la ubicación de los yacimientos y las surgencias en todos los casos, por lo que podemos afirmar que la primera variable es aceptada y validada.

4.11.2. SEGUNDA VARIABLE

➤ POTENCIAL ENERGETICO

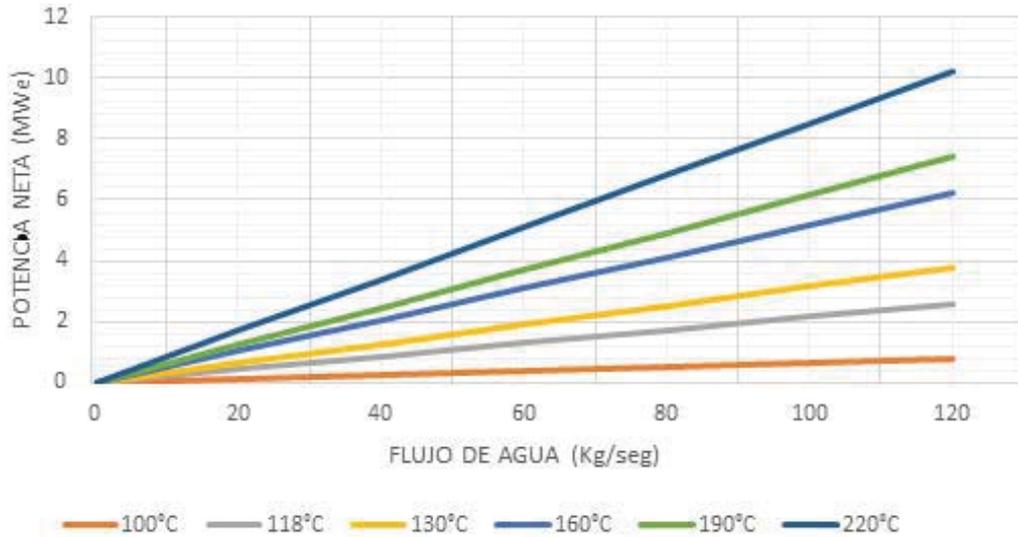
De acuerdo con el marco teórico y haciendo uso de las curvas del grafico N°1, con todos los datos hallados y seleccionado, los yacimientos de Upis, Marcapata, Choquecancha y La Raya (UNSAAC), tomando en cuenta las temperaturas de reservorio (según INGEMMET) que son de 90°C – 118°C en los yacimientos indicados esta temperatura se adecua para la producción de electricidad mediante el denominado ciclo binario con lo cual presentamos el siguiente cuadro:

➤ *Tabla 21: Potencial Geo Termoeléctrico (MWe)*

Flujo de agua (Kg/Seg)	20	40	60	80	100	120
T=100°C	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
T=118°C	0.4	0.9	1.3	1.7	2.2	2.6
T=130°C	1.2	1.4	2.0	2.6	3.2	3.8
T=160°C	1.4	2.4	3.2	4.2	5.2	6.2
T=190°C	1.4	2.6	3.8	5.0	6.2	7.4
T=220°C	2.2	4.2	6.2	8.2	10.2	12.2

De acuerdo a los datos obtenidos en la tabla N°22 se obtienen valores de 0.4 MWe para cada uno de los yacimientos seleccionados para un flujo de agua de 20Kg/seg y temperatura de 118°C. La Región Cusco cuenta con estos valores como valor ideal para el año 2016. En el siguiente grafico se muestra la curva para la temperatura de 118°C. El cual se elaboró teniendo en cuenta el grafico N° 1. Para centrales de ciclo binario.

➤ Grafico 14: Potencia Neta VS Flujo de Agua



CAPITULO V
5. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

5.1. CONCLUSIONES

De nuestra exploración y del trabajo de investigación concluimos:

- Las prospecciones de los recursos geotérmicos de Upis, Pacchanta, Marcapata de la provincia de Quispicanchis, CHOQUECANCHA de la provincia de Calca y La Raya (UNSAAC) de la provincia de Canchis contribuyeron a la elaboración del mapa Geotérmico con fines de generación de energía eléctrica de la región Cusco al año 2016.
- Los yacimientos Geotérmicos con potencial energético se hallan:
 - Upis, Pacchanta, Marcapata en la provincia de Quispicanchis
 - Choquecancha en la provincia de Calca
 - La Raya en la provincia de Canchis.
 - Mientras los otros yacimientos del cuadro de yacimientos geotérmicos de la región Cusco, presentan bajo potencial energético al año 2016
- El nivel de temperatura de los fluidos es de:
 - Upis 90.2°C
 - Marcapata 89.8°C
 - Choquecanha 90.8°C
 - La Raya (UNSAAC) 60.0°C
- Los yacimientos geotérmicos geográficamente se hallan:
 - En la provincia de Quispicanchis:
 - Upis 4472 m.s.n.m
 - Marcapata 2952 m.s.n.m
 - En la provincia de Calca:
 - Choquecancha 2681 m.s.n. m
 - En la provincia de canchis:
 - La Raya (UNSAAC) 4093 m.s.n.m
- El nivel de pH que presentan los fluidos geotérmicos son:
 - En la provincia de Quispicanchis:
 - Upis 6.6
 - Marcapata 7.6
 - En la provincia de Calca:
 - Choquecancha 7.1

5.2. SUGERENCIAS

- Sugerimos los estudios de proyectos de generación geotérmica en los yacimientos de UPIS, MARCAPATA Y CHOQUECANCHA.
- Se sugiere el estudio de proyecto de una central geotérmica piloto en el yacimiento de LA RAYA de propiedad de la UNSAAC como fuente de investigación y de formación profesional.
- De acuerdo a las características de los recursos estudiados en la Región Cusco al año 2016, será difícil conseguir el vapor seco suficiente a la presión adecuada para el funcionamiento simple del grupo turbo alternador. Por lo que sugerimos que los recursos técnicamente aprovechables puedan ser utilizadas en centrales de ciclo binario en el cual el vapor de origen geotérmico se emplea para calentar un fluido nuevo como son: el propano, isobutano o el isopentano que funcionen en un rango de 35°C en la fase fría a los 150°C en la fase caliente.
- Se sugiere a las autoridades de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco promover la investigación de recursos renovables en la Región Cusco.

Bibliografía

Armstead H. Christopher Energia Geotermica [Libro]. - Mexico : LIMUSA, 1997.

Comunidad Eduambiental www.Comunidad.eduambiental.org/file-php/1/cusco/contenido/docpdf/capitulo2.pdf [En línea].

Cruz Sebastian Agustin Barriga Genereacion Electrica Geotermica en Chile: Analisis de las condiciones para su desarrollo sustentable [Libro]. - 2007.

Fernandez P. Energia Geotermica [Sección de libro].

Fundacion de las Energia de la Comunidad de Madrid Guia de la Energia Geotermica [Libro].

Garcia Enrique Orche Energia Geotermica [Libro]. - Madrid : Graficas Arias Montano, S.A., 2011.

Geographic National Volcanes [Publicación periódica]. - Barcelona - Buenos Aires : SOL90, 2012.

Gomez Victor M. Arellano La Energia Geotermica: Una Opcion Tecnologica y Economicamente Madura [Publicación periódica].

INGEMMET Aguas Termales y Minerales en el Suroriente del Perú [Libro]. - Lima - Perú : [s.n.], 2001. - Vol. Primera Edicion.

Japon Agencia de Cooperacion Internacional del Plan Maestro para el Desarrollo de la Energia Geotermica en el Perú [Informe]. - 2012.

Leon Jose Luis Quijano Manual de la Geotermia [Libro]. - 2007.

N°072 D.S. Reglamento de la Ley Organica de los Recursos Geotermicos [Libro]. - 2006.

Pacheco Ing. Alcides Claro Situacion de la Energia Geotermica en el Perú [Informe]. - 2014. P

ostigo Jaime Termodinamica Aplicada [Libro]. - [s.l.] : Juan F. Cruz.

Unidad de Planeacion Minero Energetica Utilizacion de la Energia Geotermica [Libro]. - Bogota : [s.n.], 2003. - Vol. 00.

Vergara Juan Alberto Salmeron Tecnicas para el Aprovechamiento de Remanente Energetico de Yacimientos Geotermicos [Libro]. - Mexico : [s.n.], 2010.

Zapata Luis Felipe Cordova Diseño de una Plante Geotermica de Generacion Electrica de 50MW [Libro]. - Lima : [s.n.], 2007.

ANEXOS

CONCEPTO DE ENTALPIA

La Entalpía (H) describe los cambios térmicos que se llevan a cabo a presión constante.

Esta se calcula a partir del primer principio de la termodinámica ($\Delta U = Q + W$).

En los procesos a presión constante es frecuente que, a medida que transcurre la reacción exista un pequeño cambio de volumen, el que se expresa como

$$W = -P \times \Delta V.$$

COMO SE MIDE LA ENTALPIA

Así, se tiene que:

$$\Delta U = Q + W \quad \Delta U = Q_p + (-P\Delta V)$$

$$Q_p = (U_2 + P\Delta V) - (U_1 + P\Delta V)$$

$H = U + P\Delta V$ La Entalpía es una función de estado

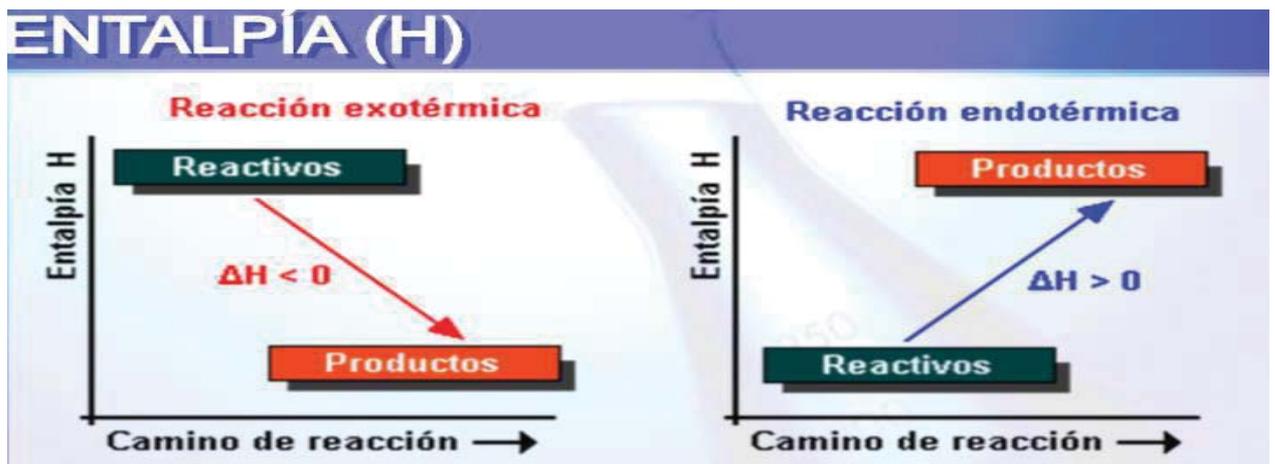
$$\Delta H = H_{\text{final}} - H_{\text{inicial}}$$

La variación de Entalpía (ΔH) es igual a la diferencia de la H de los productos y H de los reactivos.

$$\Delta H = H_{\text{PRODUCTO}} - H_{\text{REACTANTE}}$$

Si $\Delta H > 0$, el sistema absorbe calor y el proceso es endotérmico.

Si $\Delta H < 0$, el sistema libera calor y el proceso es exotérmico.

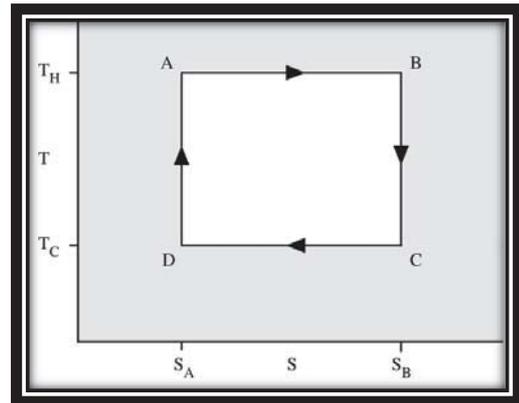
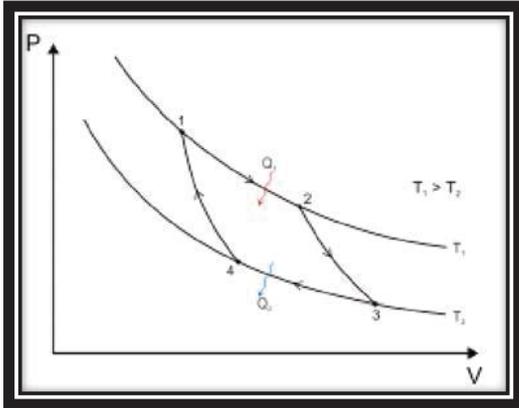


CICLO TERMODINÁMICO

Es un proceso o conjuntos de procesos por los que un sistema evoluciona volviendo al mismo estado inicial.

Para todo ciclo se cumple que: $\Delta U = 0$; $Q = W$

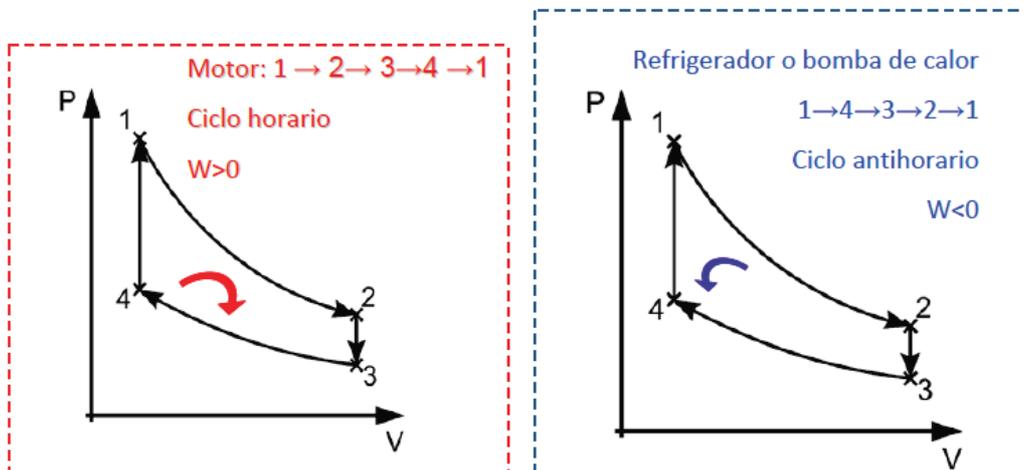
Ciclo reversible: (todos los estados son de equilibrio). Puede representarse en diagramas PV & TS.



El área dentro del ciclo en un diagrama PV representa el trabajo y en un diagrama TS el calor.

Los ciclos termodinámicos permiten:

- Convertir calor en trabajo por interacción con dos focos térmicos -Máquinas o motores térmicos. Se describen en sentido horario
- Pasar calor de un foco frío a otro a mayor temperatura -frigoríficos o bombas de calor. Se describen en sentido anti horario.



PRINCIPALES CICLOS

❖ DE POTENCIA

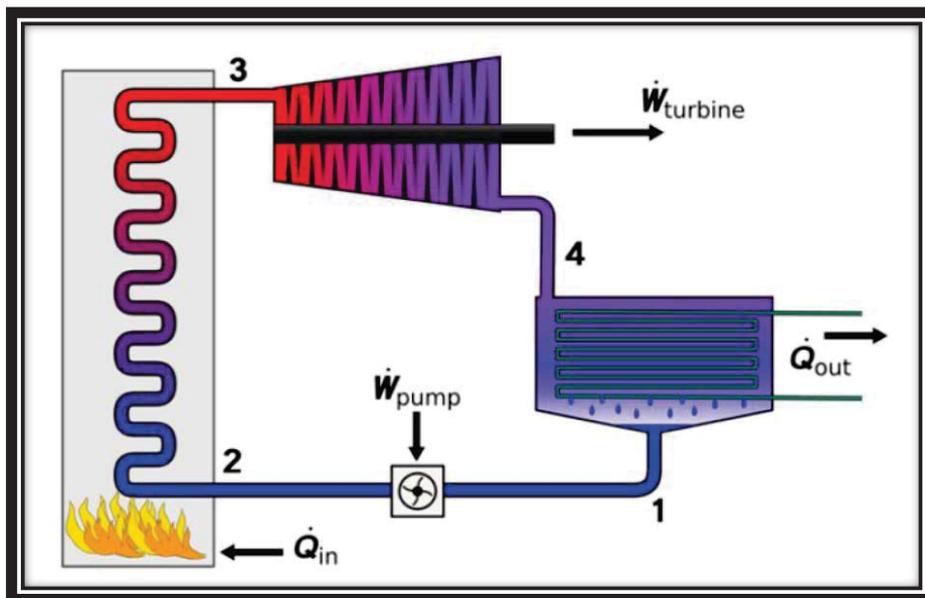
- Ideal de Carnot
- Rankine
- Brayton
- Stirling

❖ DE REFRIGERACION

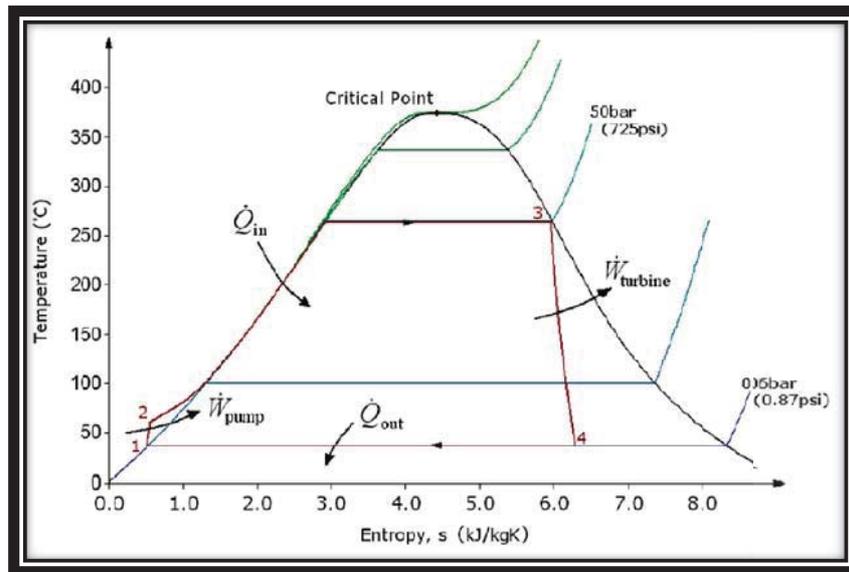
- De Carnot inverso
- Refrigeración por compresión
- Por absorción

CICLO DE RANKINE

El calor suministrado por una fuente externa se convierte parcialmente en trabajo utilizando normalmente agua. Se aprovecha la entalpía de cambio de fase.



CICLO DE RANKINE: IDEAL



1-2: Calentamiento sensible adiabático del líquido ($T_f \rightarrow T_c$) por compresión. Requiere bomba o compresor.

2-3: Calentamiento isobárico del líquido hasta convertirlo en vapor saturado. Requiere de una fuente de calor externa. (Vaporización)

3-4: Expansión adiabática del vapor saturado en la turbina, con generación de potencia. La temperatura y la presión bajan y aparece condensación. (Enfriamiento sensible $T_c \rightarrow T_f$ y de cambio de fase por condensación)

4-1: Condensación isoterma del vapor hasta la saturación. El vapor se convierte en líquido saturado.

Rendimiento del ciclo RANKINE

$$\eta = \frac{\dot{W}_{Turbina} - \dot{W}_{Bomba}}{\dot{Q}_C}$$

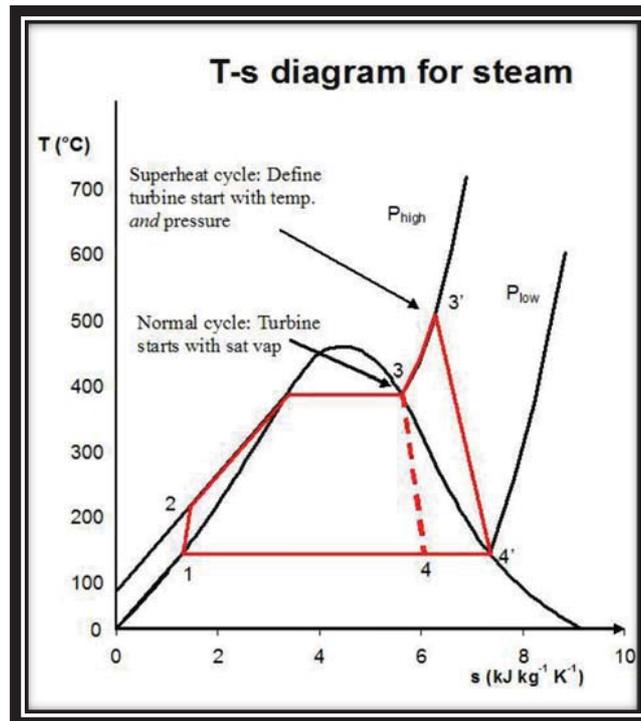
$$\frac{\dot{W}_{Turbina}}{m} = h_1 - h_2$$

$$\frac{\dot{W}_{bomba}}{m} = h_4 - h_3$$

$$\frac{\dot{Q}_C}{m} = h_1 - h_4$$

$$\frac{\dot{Q}_E}{m} = h_2 - h_3$$

CICLO DE RANKINE: REAL



En un ciclo real la compresión en la bomba y la expansión en la turbina no son isentrópicas, por lo que son procesos no reversibles con aumento de entropía mayor consumo en la bomba y menor rendimiento global

La eficiencia de la turbina se reduce por la formación de gotas en el condensado que al chocar contra las aletas de la turbina reducen su velocidad, las erosiona y reduce su vida de uso.

La solución más fácil es sobrecalentar el vapor (procesos 3→3') para desplazar el diagrama hacia la derecha (3'→4'), por lo que se produce un vapor más seco tras la expansión, lo que evita el goteo.

¿COMO FUNCIONA UNA CENTRAL GEOTÉRMICA?

El funcionamiento de una central geotérmica o geo termoeléctrica se basa en la compleja operación de un sistema campo-planta.

El campo geotérmico es una extensión de tierra con un mayor gradiente (temperatura) que lo normal. También se conoce como área con calentamiento anómalo, cuya fuente de calor es un acuífero confinado (depósito de agua) almacenado y limitado por una capa sello, impermeable, que conserva el calor y presión, formando lo que se conoce como reservorio geotérmico. Este

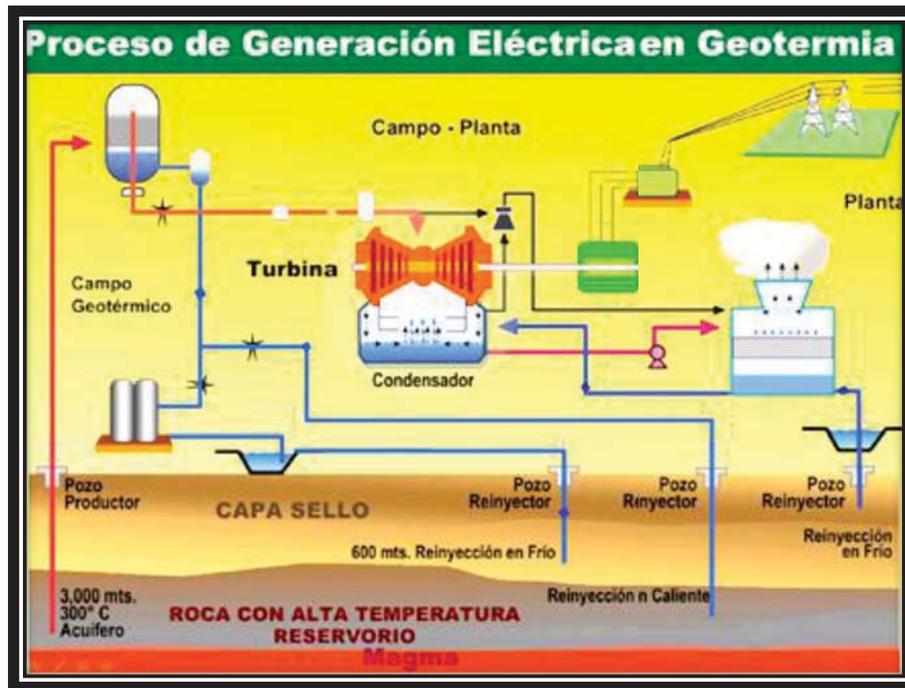
yacimiento de agua almacenado y calentado de forma natural en el subsuelo por una fuente de calor no muy profunda denominada cámara magmática, usualmente está relacionado con la actividad volcánica. La alta presión que alcanzan estos reservorios (yacimientos de agua y vapor presurizado) muchas veces rompe los estratos rocosos o utilizan las fallas geológicas existentes y salen a la superficie en forma de fumarolas, manantiales de agua caliente, ausoles o geysers.

En el campo geotérmico es el sitio donde se ubican los pozos geotérmicos que desde la superficie conectan con el reservorio y es a través de éstos que se extrae el vapor que mediante una red de tuberías denominado sistema de acarreo, se conduce hacia la central generadora, donde la energía calorífica del vapor se convierte en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica.

PROCESO DE GENERACIÓN

El proceso inicia con la extracción de una mezcla de vapor y agua geotérmica desde del reservorio geotérmico a través de los pozos productores, ya en la superficie, se separan el vapor del agua geotérmica utilizando un equipo llamado separador ciclónico. Una vez separados, el agua se reinyecta nuevamente al subsuelo, mientras que el vapor —agua en estado gaseoso— ya seco es conducido hasta la central generadora.

En la central geotérmica, la fuerza o energía del vapor activa la turbina cuyo rotor gira a unas 3 mil 600 revoluciones por minuto, que a su vez activa el generador, donde el roce con el campo electromagnético transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Del generador salen 13 mil 800 voltios, que se transfieren a los transformadores que los convierte en 115 mil voltios, que son inyectados a las líneas de alta potencia para ser entregados a las subestaciones y de ahí hacia los hogares, fabricas, escuelas y hospitales, entre otros.



El vapor geotérmico, después de haber hecho girar la turbina, es condensado —convertido en agua— y reinyectado al subsuelo, donde mediante un proceso de tipo reciclable el agua se puede volver a calentar, convertirse en vapor que puede extraerse nuevamente para volver a impulsar una turbina. De esta forma la geotermia se convierte en una fuente de generación de energía eléctrica limpia, cíclica, renovable y sostenible, ya que con la reinyección se logra recargar el recurso, alargando su vida útil o productiva a través de un aprovechamiento sostenible de la fuente.

La energía geotérmica es reconocida a nivel mundial como fuente de generación de electricidad amigable con el medio ambiente debido a que no produce gases tóxicos ni causantes de efecto invernadero, el uso de áreas de suelo no es extenso y con un manejo adecuado sus implicaciones ambientales son mínimas y fáciles de prevenir o mitigar.

PRODUCCIÓN MUNDIAL

País	Capacidad (MW) 2007 ²⁶	Capacidad (MW) 2010 ²⁷	Capacidad (MW) 2013 ²⁸	Capacidad (MW) 2015 ²⁹	Porcentaje (%) de la producción nacional
 <u>EE. UU.</u>	2687	3086	3389	3450	0,3
 <u>Filipinas</u>	1969,7	1904	1894	1870	27,0
 <u>Indonesia</u>	992	1197	1333	1340	3,7
 <u>México</u>	953	958	980	1017	3,0
 <u>Nueva Zelanda</u>	471,6	628	895	1005	14,5
 <u>Italia</u>	810,5	843	901	916	1,5
 <u>Islandia</u>	421,2	575	664	665	30,0
 <u>Kenia</u>	128,8	167	215	594	51,0 ²
 <u>Japón</u>	535,2	536	537	519	0,1
 <u>Turquía</u>	38	82	163	397	0,3

PRODUCCIÓN MUNDIAL

País	Capacidad (MW) 2007 ²⁶	Capacidad (MW) 2010 ²⁷	Capacidad (MW) 2013 ²⁸	Capacidad (MW) 2015 ²⁹	Porcentaje (%) de la producción nacional
 <u>Costa Rica</u>	162,5	166	208	207	14,0
 <u>El Salvador</u>	204,4	204	204	204	25,0 ³⁰ ³¹
 <u>Nicaragua</u>	87,4	88	104	159	10,0
 <u>Rusia</u>	79	82	97	82	
 <u>Papúa Nueva Guinea</u>	56	56	56	50	
 <u>Guatemala</u>	53	52	42	52	
 <u>Portugal</u>	23	29	28	29	
 <u>China</u>	27,8	24	27	27	
 <u>Alemania</u>	8,4	6,6	13	27	

PRODUCCIÓN MUNDIAL

País	Capacidad (MW) 2007 ²⁶	Capacidad (MW) 2010 ²⁷	Capacidad (MW) 2013 ²⁸	Capacidad (MW) 2015 ²⁹	Porcentaje (%) de la producción nacional
 Francia	14,7	16	15	16	
 Etiopía	7,3	7,3	8	7,3	
 Austria	1,1	1,4	1	1,2	
 Australia	0,2	1,1	1	1,1	
 Tailandia	0,3	0,3	0,3	0,3	
Total	9731,9	10 709,7	11 765	12 635,9	–

FUENTE: https://es.wikipedia.org/wiki/Central_geot%C3%A9rmica