



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN ENERGÍAS RENOVABLES
Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.**

TEMA

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICO A PARTIR DE LA
EFICIENCIA ENTRE CENTRALES GEOTÉRMICAS BINARIAS DE VAPOR
SECO Y VAPOR FLASH. PERSPECTIVAS EN EL ECUADOR.**

AUTOR

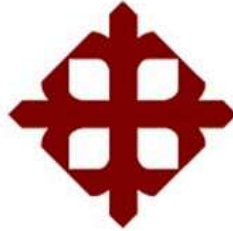
ING. ABEL RODOLFO CARRASCO ANDRADE

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del
Título de Magister en Electricidad con mención en Energías Renovables y
Eficiencia Energética.**

TUTOR

ING. BAYARDO BOHORQUEZ ESCOBAR, PhD.

Guayaquil, 15 de Junio del 2023



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por ABEL
RODOLFO CARRASCO ANDRADE. Como requerimiento parcial para la obtención del
Grado Académico de **MAGÍSTER EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN ENERGÍAS
RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.**

TUTOR

Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, MSc.

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, MSc.

Guayaquil, 15 de junio del 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Abel Rodolfo Carrasco Andrade con C.I. 0923368443

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación **“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICO A PARTIR DE LA EFICIENCIA ENTRE CENTRALES GEOTÉRMICAS BINARIAS DE VAPOR SECO Y VAPOR FLASH. PERSPECTIVAS EN EL ECUADOR”** previa a la obtención del Título de Magíster en Electricidad con mención Energía Renovable y Eficiencia Energética, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil a los 15 días del mes de junio del 2023.

EL AUTOR:

ING. ABEL RODOLFO CARRASCO ANDRADE



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

AUTORIZACIÓN

Yo, Abel Rodolfo Carrasco Andrade con C.I. 0923368443

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA A PARTIR DE CENTRALES GEOTÉRMICAS BINARIAS DE VAPOR SECO Y VAPOR FLASH. PERSPECTIVAS EN EL ECUADOR.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil a los 15 días del mes de junio del 2023.

EL AUTOR

ING. ABEL RODOLFO CARRASCO ANDRADE

INFORME DE URKUND



Document Information

Analyzed document	TESIS CARRASCO -14.02.23.doc (D16287743)
Submitted	2023-04-01 06:51:00
Submitted by	
Submitter email	miesha.alechriede@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	4%
Analyst address	oscar.bohorquez.ucsg@analisis.arkund.com

Sources included in the report

SA	CHACHA-GIMÉNA-TAREA-7.pdf Document: CHACHA-GIMÉNA-TAREA-7.pdf (D127395164)	3
SA	submission.pdf Document: submission.pdf (D119803576)	1
SA	Calvache-virginia-tarea-07.pdf Document: Calvache-virginia-tarea-07.pdf (D127317887)	4

Conclusión: La revisión de coincidencias del resultado de la revisión, considera la desactivación de la información de texto de los formatos de presentación de trabajos de titulación en la UCSG. Se adjunta documento de Reporte URKUND de la Revisión Final en medio digital. Porcentaje de coincidencia final del 4%.

Atentamente,

Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, M.Sc.
DOCENTE-TUTOR

DEDICATORIA

A Dios por ser mi orientación y guía constante, siempre ha estado conmigo y su presencia cubre mi vida

A mi familia quienes representan el eje principal de mi vida, han sido mi impulso y mi apoyo incondicional en todo momento

A mis adoradas hijas Gina, Sofía y Mía por enseñarme que el amor es invencible, no tiene límites ni barreras, pero sobre todo por impulsar y motivar en mí el deseo de ser un mejor ser humano y especialmente un mejor padre para ellas

AGRADECIMIENTOS

A Dios por acompañarme en el sendero de la vida y especialmente en todo el desarrollo de esta obra

A mi tutor Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, PhD., agradezco infinitamente todas sus orientaciones durante todo el tiempo en el que nos hemos dedicado a trabajar en este proyecto de tesis

A todos aquellos que con su bondad, desinterés y buena voluntad contribuyeron a la materialización de esta obra


A todas y todos, muchas gracias




UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

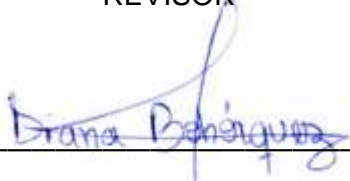
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar, MSc
TUTOR

f. 

Ing. Gustavo Miguel Mazzini Muñoz, MSc
REVISOR

f. 

Ing. Diana Carolina Bohórquez Escobar, MSc
REVISOR

f. 

Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar, MSc
DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
CAPITULO 1	1
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes	3
1.3 Problema	6
1.3.1 Planteamiento del problema	6
1.4 Objetivos	7
1.4.1 Objetivo General.....	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Hipótesis.....	7
FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS/PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	8
1.6 Metodología de la investigación	8
CAPITULO 2	10
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	10
2.1 Estado del arte y definiciones.....	10
2.1.1 Investigaciones previas.....	15
2.1.2 Evolución de las geotérmicas en el Ecuador.....	18
2.2 Potencial Geotérmico.....	20

2.2.1 Centrales geotérmicas	25
2.2.1.1 Plantas de vapor seco.....	25
2.2.1.2 Plantas de vapor de destello.....	26
2.2.1.3 Plantas ciclo binario.....	27
2.2.1.4 Plantas de contrapresión.....	28
2.3 PROCESO DE EXPLOTACION GEOTÉRMICO	28
CAPITULO 3.....	49
3.1 Potencial Geotérmico, Mapas geotérmicos para determinar el lugar optimo.....	49
3.1.1 Potencial térmico del Ecuador	49
3.1.2 Estado de la geotermia en el Ecuador.....	49
3.1.3 Centrales de alta entalpia	50
3.1.4 Proyecto de Baja entalpia	52
3.2 Etapas al realizar un estudio de factibilidad	54
3.2.1 Proceso para investigar el área factible geotérmica	56
3.3 Eficiencia entre centrales geotérmicas de distintos tipos utilizando el factor de planta para la optimización del diseño.	59
3.4 Parámetros para la evaluación financiera	62
3.4.1 Flujo de Caja	63
3.4.2 Rentabilidad.....	63
3.4.3 Costos del Proyecto	65
CAPITULO 4	71
CONCLUSIONES	71

RECOMENDACIONES.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 CAPACIDAD INSTALADA EN EL MUNDO	20
FIGURA 2 POTENCIAL GEOTÉRMICO	23
FIGURA 3 PLANTA DE VAPOR SECO	26
FIGURA 4 PLANTA DE VAPOR DESTELLO	27
FIGURA 5 PLANTA CICLO BINARIO	28
FIGURA 6 RECURSO GEOTÉRMICO HIDROTHERMAL	32
FIGURA 7 ESTUDIO DEL RECONOCIMIENTO GEOTÉRMICO NACIONAL	49
FIGURA 8 RIESGO DE UN PROYECTO GEOTÉRMICO VS. TIEMPO	57
FIGURA 9 ESQUEMA DE UNA PLANTA CONTRAPRESIÓN	61
FIGURA 10 ESQUEMA DE UNA PLANTA CONTRAPRESIÓN	62
FIGURA 11 COMPONENTES DEL COSTO DEL PROYECTO	65
FIGURA 12 COMPONENTES DEL COSTO DEL PROYECTO	68
FIGURA 13 GRÁFICA DE VALOR ACTUAL NETO DE PROYECTOS DE COLOMBIA Y ECUADOR	69
FIGURA 14. TASA INTERNA DE RETORNO DEL PROYECTO Y DEL INVERSIONISTA	70
FIGURA 15. POTENCIA MÍNIMA INSTALADA EN PROYECTOS DE COLOMBIA Y ECUADOR	70

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE PLANTAS EN EL MUNDO	21
TABLA 3.1 PARÁMETROS PARA FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO.....	67

RESUMEN

El propósito principal del presente trabajo de investigación es proponer la utilización de centrales geotérmicas a partir de un estudio de factibilidad técnico-económica considerando la eficiencia y el factor de planta para la generación de electricidad de manera sostenible y continua. Para lograr este objetivo se debe determinar el potencial térmico del Ecuador a partir mapa geotérmico y parámetros técnicos, de la misma manera investigar la eficiencia entre centrales geotérmicas de distintos tipos utilizando el factor de planta para la optimización del diseño por medio de un caso de estudio de la central térmica bocapozo. Las variables de investigación involucradas son la dependiente eficiencia debido al factor de planta de las centrales geotérmicas y la independiente el estudio de factibilidad técnico-económica. La metodología de la investigación es descriptiva, cualitativa, cuantitativa, no experimental, analítica sintética y no experimental. Se concluye con base en los avances en el diseño de plantas geotérmicas existe en el mercado plantas bocapozo a condensación en la actualidad, estas plantas se caracterizan por que presentan una eficiencia superior que las plantas bocapzo convencionales a contrapresión, y estas últimas pueden llegar a consumir alrededor de un 75% más de vapor y a pesar de que habitualmente el costo de una planta bocapozo a contrapresión es 20% menor que el de una planta bocapozo a condensación, no logra ser una ventaja financiera por motivo que al disminuir la generación en aproximadamente un 35%.

Palabras clave: geotérmica, factibilidad, costo beneficio.

ABSTRACT

The main purpose of this research work is to propose the use of geothermal power plants based on a technical economic feasibility study considering the efficiency and the plant factor for the generation of electricity in a sustainable and continuous manner. To achieve this objective, the thermal potential of Ecuador must be determined from the geothermal map and technical parameters, in the same way to investigate the efficiency between geothermal power plants of different types using the plant factor for design optimization through a case study. of the Bocapozo thermal power plant The research variables involved are the dependent efficiency due to the plant factor of the geothermal power plants and the independent technical-economic feasibility study. The research methodology is descriptive, qualitative, quantitative, non-experimental, synthetic analytical and non-experimental. It is concluded that thanks to advances in the design of geothermal plants, there are currently condensing wellhead plants on the market that have better efficiency than traditional backpressure wellhead plants, where the latter can consume around 75% more steam. . In addition, despite the fact that the cost of a backpressure wellhead plant is normally 20% less than that of a condensing wellhead plant, this does not achieve a financial advantage because generation is reduced by approximately 35%.

Keywords: geothermal, feasibility, cost benefit

CAPITULO 1

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1 Introducción

Las fuentes de energía renovable suministran el 14% del total de la demanda energética mundial. (U. Nations, D. Programme, and U. Nations, , 2022). Estas comprenden a la biomasa, la energía hidroeléctrica, la geotérmica, la solar, la eólica y la marina, en la última década ha existido un incremento de consumo energía renovable debido al aumento del calentamiento global, el cual es causado por las excesivas emisiones de gases de efecto invernadero, así como la disminución de las reservas y disponibilidad de los combustibles fósiles, el incremento del precio del petróleo.

Por estas razones la industria energética está enfocada en la búsqueda de distintas fuentes de energía, las cuales deben tener las características de ser alternativas, renovables, eficientes y sustentables. Estas tecnologías como fuentes limpias de energía minimizan los impactos ambientales, produciendo un mínimo de desechos secundarios y es sostenible en función de las necesidades económicas y sociales actuales de la sociedad, de igual manera se cuentan con una oportunidad para minimizar la emisión de gases de efecto invernadero y la reducción del calentamiento global.

Dentro de este contexto, la geotérmica, se refiere a la gran cantidad de energía térmica generada por la desintegración radiactiva en el interior de la tierra que actualmente se ha implementado en 24 países en el mundo, sumando 11.000 MW de capacidad instalada, para la producción de electricidad se utilizan tres tipos de energía a partir de depósitos geotérmicos, que se clasifican de acuerdo con el tipo de yacimiento con el que se

opera, si es de baja, media o alta entalpía.

Las centrales más utilizadas en la actualidad son las de ciclo binario que a pesar de constituir el 33% de todas las unidades geotérmicas en operación en el mundo, las plantas de ciclo binario genera solamente el 3% de la energía eléctrica total.

Las plantas de vapor seco o de vapor dominante utilizan como recurso el vapor proveniente de los yacimientos geotérmicos, en donde este no se encuentra totalmente mezclado con el agua. Se caracteriza por extraer vapor a temperaturas con rangos de 180 a 185°C y 0.8 a 0.9 MPa. En las plantas tipo single flash el agua del yacimiento se extrae a más de 210 °C y se expande en una fase de evaporación flash, en donde un porcentaje de la misma se evapora instantáneamente por medio de un separador de vapor y se lleva a la turbina, y el agua sobrante se reinyecta en el acuífero.

En las plantas tipo doble flash se aumenta el rendimiento añadiendo una segunda etapa de vaporización que vaporiza una parte del líquido que sale de la primera etapa. Los ciclos binarios son utilizados cuando la temperatura del fluido de los yacimientos es menor de 210°C, en donde el delta de las temperaturas es demasiado bajo para poder emplear los otros tipos de métodos.

En estas se emplea un intercambiador de calor para el sistema de conversión energía, en el cual participan dos fluidos, el primero que es la fuente térmica y el segundo responsable del ciclo de generación de energía.

En Ecuador la mayor parte de producción de energía proviene de la hidroelectricidad, en segundo lugar, de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), cuyas reservas al pasar de los años, se han explotado abruptamente, causando impactos ambientales irreversibles en la fauna y flora de distintas regiones del país.

Una alternativa frente a la reducción de las reservas de combustibles fósiles junto con su posible aumento de precio e impactos ambientales es la implementación del recurso de la energía geotérmica, que cuenta con gran disponibilidad en varias regiones del país, y

no está siendo aprovechada en el momento. Sobre todo, porque está ubicado en cinturón de fuego del pacífico en un sistema geodinámica favorable.

1.2 Antecedentes

El empleo de la energía geotérmica no es nuevo. Las aguas termales se han utilizado por siglos en balnearios y para la cocción de alimentos. Sin embargo, la explotación industrial y para la generación de electricidad empezó en Italia, a comienzos del Siglo XX (*Guía de La Energía Geotérmica (2008) - FENERCOM, n.d.*), mediante el uso de vapor extraído de pozos de poca profundidad. Desde entonces, los avances tecnológicos han promovido un importante desarrollo de la geotermia como fuente de energía primaria apta para la generación eléctrica.

Luego de la “crisis energética” de 1973, ocasionada por el aumento de los precios del petróleo y las restricciones que debieron imponerse al uso indiscriminado de este producto se inició un importante auge de la geotermia, que recibió una atención preferencial junto con la hidroelectricidad y la energía nuclear.

A partir de 1970 muchos países se incrementaron las actividades de exploración y desarrollo con relación de la energía geotérmica, pues se buscaba una alternativa viable para sustituir el uso de los combustibles derivados del petróleo. En Latinoamérica dieciocho países incluyendo el Ecuador, empezaron independientemente los proyectos de exploración geotérmica en las diferentes etapas de desarrollo (OLADE-BID, 1983).

Luego de una década, la caída de los precios del petróleo y problemas económicos hicieron que la actividad geotérmica se reduzca notablemente, en vista de lo cual continuaron desarrollándose solo los proyectos que habían completado la fase de exploración y tenían comprometido su financiamiento. A pesar de esas dificultades, la geotermia mantuvo una clara tendencia positiva.

A partir de 1991 la industria de la generación eléctrica con geotermia en los Estados

Unidos se convirtió en la más grande del mundo, con una capacidad instalada de más de 2.100 MW, ubicada en el campo de “Los Geysers”, que, además, opera con un factor de planta de hasta el 99 %. En la actualidad la energía geotérmica se utiliza como fuente primaria de energía para la generación eléctrica en más de veinte países del mundo. El informe anual de la Asociación de Energía Geotérmica (2015) indica que, en 2014, la capacidad eléctrica instalada con geotermia a nivel mundial totalizó 12.745,3 MW. Existen, además, varios países en los que se encuentra en proceso de instalación plantas geo termoeléctricas entre los que se destacan: Argentina, Canadá, Chile, Grecia, Honduras, Hungría, Nevis, Rumania y España (Hom et al., 2010; Asociación de Energía Geotérmica, 2014), con lo que se espera que la capacidad instalada llegue a 17,6 GW en el año 2020 (Huttrer, 2020).

La exploración geotérmica en Ecuador de empezó en 1979, cuando el ex-Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) junto a la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), con el asesoramiento de AQUATER de Italia, BRGM de Francia y el Instituto de Investigaciones Eléctricas de México (IIE), desarrollaron el tema denominado “Estudio de Reconocimiento Geotérmico Nacional de la República del Ecuador” a fin de “diversificar la oferta de recursos naturales aptos para la generación de energía eléctrica y disminuir el uso de los combustibles derivados del petróleo” (INECEL-OLADE, 1979). Estos estudios se realizaron en la región interandina aprovechando la ubicación con los volcanes.

A partir de estos estudios se identificaron áreas con mayores perspectivas de existencia de sistemas geotérmicos que sean económicamente explotables, se mostraron dos grupos de áreas geotérmicas prioritarios (denominados Grupo A y Grupo B) en las que se exhortaba a continuar con estudios para un posible aprovechamiento geotérmico. El Grupo A, también denominado de “primera prioridad”, comprende las áreas de: Tufiño, Imbabura-Cayambe y Chalupas. El Grupo B, de “segunda prioridad”, comprende: Ilaló, Chimborazo y Cuenca.

Algunos hitos importantes en la historia de la energía geotérmica en el Ecuador han sido resumidos por Beate (2010) y Aguilera (1995, 1998) y se los presenta a continuación.

El extinto INECEL continuó con las recomendaciones establecidas en el “Estudio de Reconocimiento Geotérmico Nacional de la República del Ecuador”. La primera área seleccionada fue la de Tufiño, en la que se completó el estudio de prefactibilidad en el ámbito del Proyecto Geotérmico Binacional Chiles-Cerro Negro-Tufiño, en asociación con el ex Instituto Colombiano de Electricidad (ICEL) y la cooperación de la OLADE.

Posteriores estudios de prospección fueron realizados por el ex-INECEL en las zonas de Chalupas y Chachimbiro. De igual manera el extinto Instituto Ecuatoriano de Energía (INE), empezó con los estudios de prefactibilidad en las zonas de Ilaló y Cuenca, con asistencia técnica del BRGM, para localizar y aprovechar recursos geotérmicos de baja temperatura.

Luego de algunos años estos proyectos quedaron abandonados debido a problemas de financiamiento. Para el ex-INECEL, el prospecto de Tufiño tuvo la máxima prioridad, por lo que decidió continuar con estudios de prefactibilidad. Estos incluyeron trabajos detallados de geología, geoquímica (de aguas y gases) y geofísica (magnetometría, gravimetría, geoelectrica y magnetotelúrica), que los llevó a cabo Aquater, con la coordinación técnica de la OLADE.

A partir de los resultados se localizó un reservorio geotérmico de alta temperatura bajo el volcán Chiles, lo que fue ciertamente alentador en el desarrollo de los estudios de prospección. A partir de los resultados de los estudios geológicos y geoquímicos de superficie realizados hasta la fecha, incluido el concerniente a los modelos geotérmicos preliminares sustentados en información geoquímica e isotópica.

En vista que habían transcurrido varios años de investigaciones y en ninguna de las áreas se había realizado los estudios de factibilidad, indispensables para cuantificar el potencial aprovechable para la generación eléctrica, el ex-INECEL consideró necesario

suplir esta necesidad mediante un estudio preliminar sustentado en la información disponible que, como se ha mencionado, no había superado el nivel de prefactibilidad.

El estudio en mención se fundamentó en el método volumétrico y de la cantidad de calor magmático, bien conocido en la bibliografía científica internacional (Muffler & Cataldi, 1977). Se destaca que la evaluación preliminar del potencial de Tufiño, Chalupas y Chachimbiro totaliza la alentadora cifra de 534 MWe. A partir de los nuevos estudios realizados por CELEC EP, se ha confirmado el estado actual de la exploración geotérmica en el Ecuador y la evaluación preliminar del potencial.

En conclusión, se observa que después que han transcurrido 35 años desde cuando INECEL realizó la primera evaluación preliminar de los recursos geotérmicos aptos para la generación eléctrica, en ninguna del área prospectivamente interesante se ha logrado pasar a la Fase de Factibilidad y, por consiguiente, se continúa solamente vislumbrando la existencia del recurso, básicamente en las mismas áreas identificadas, en 1979, por el Estudio de Reconocimiento Geotérmico Nacional.

1.3 Problema

1.3.1 Planteamiento del problema

La energía geotérmica, es una fuente de energía renovable, que en el Ecuador no ha tenido suficiente impulso, por diferentes razones históricas. Los proyectos geotérmicos, utilizan fluido caliente (generalmente vapor y agua) almacenados en fuentes geotérmicas al interior de las capas de la tierra, produciendo eventualmente energía.

El estudio y los incentivos en la geotermia son representativos ya que se cuenta con mucha actividad volcánica, al ser un país con gran potencial geotérmico y termal. Ecuador es uno de los países con mayor actividad volcánica en Sudamérica.

Formulación del Problema de Investigación

¿Cuáles deben ser los parámetros técnicos y económicos que permitirán el diseño correcto, tomando en cuenta que existen tres tipos de centrales geotérmicas considerando el factor de planta?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Proponer la utilización de centrales geotérmicas a partir de un estudio de factibilidad técnico-económica considerando la eficiencia y el factor de planta para la generación de electricidad de manera sostenible y continua.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el potencial térmico del Ecuador a partir mapa geotérmico y parámetros técnicos para escoger el lugar óptimo de implementación.
- Determinar la eficiencia entre centrales geotérmicas de distintos tipos utilizando el factor de planta para la optimización del diseño.
- Realizar el estudio de factibilidad técnico económico

1.5 Hipótesis

El estudio de factibilidad técnico-económica permitirá determinar el diseño óptimo de una central geotérmica a partir de la eficiencia entre centrales binarias, de vapor seco y vapor flash, para conocer las mejores opciones en el Ecuador.

Definición de las variables.

- Variable dependiente: Eficiencia por el factor de planta entre centrales geotérmicas binarias, vapor seco y vapor flash.
- Variable independiente: Estudio de factibilidad técnico-económica.

FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS/PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Respuesta posible

El diseño de una central geotérmica permitirá obtener energía limpia continua, sostenible y barata, a partir de un estudio técnico económico considerando el factor de planta de los tres tipos de centrales.

Hipótesis / Preguntas de investigación

- Ho: El estudio de factibilidad técnico-económica permitirá encontrar el mejor diseño de una central geotérmica a partir del factor de planta.
- Ha: El estudio de factibilidad técnico-económica no permitirá encontrar el mejor diseño de una central geotérmica a partir del factor de planta.
- Y: Eficiencia por el factor de planta entre centrales geotérmicas binarias, vapor seco y vapor flash.
- X: Estudio de factibilidad técnico-económica
- Tipos de datos de Y: continuos
- Tipos de datos de X: continuos

1.6 Metodología de la investigación

La metodología del presente trabajo de investigación se encasilla en:

- Descriptiva: Se describe y explica puntualmente los hechos de acuerdo con la consideración del problema en el área a estudiar, esto ocurre al recopilar la información sobre los antecedentes del problema que consiste en las investigaciones previas relacionadas con la exploración, diseño y construcción de centrales geotérmicas. Así como investigaciones académicas previas.

- Cuantitativa: De acuerdo con las mediciones y el procesamiento de la información se utilizará un modelo cuantitativo cuyo propositivo es explicar utilizando valores numéricos utilizando el método científico.
- Cualitativa: También se utilizará el método cualitativo pues se considerará las opiniones recopiladas de usuarios y personal involucrado en los hechos descritos.
- No Experimental: No son alteradas las variables presentadas que son medidas en el estudio, es decir se recopilara la información y no se cambiaran sin que exista algún experimento.
- Analítica-Sintética: Se realiza el estudio y factibilidad con el fin de presentar las mejores alternativas para desarrollar el diseño de una central geotérmica.
- Bibliográfica: Utiliza fuentes secundarias esto es investigaciones previas, fundamentadas en estudios académicos, artículos científicos, libros y tesis.

CAPITULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El Estado del Arte permite obtener el último conocimiento generado sobre un tema o problema de investigación científica y/o tecnológica, estableciendo hasta donde ha avanzado el mismo, cual es la frontera en un tiempo y espacio determinado, a continuación, se presenta la línea de tiempo y las últimas publicaciones generados sobre el tema específico.

2.1 Estado del arte y definiciones

La energía geotérmica también conocida como la energía calórica generada y almacenada en el interior de la tierra. Esta define el calor (therme) de la tierra (geo), y ese origen se lo atribuye gracias a dos principios combinadas: el calor residual de la acreción planetaria y el calor generado por la desintegración radiactiva de los isótopos que más lo producen en el manto terrestre; ^{40}K , ^{238}U , ^{235}U , y ^{232}Th (Geoscience, 2022).

La energía geotérmica también conocida como la energía que se obtiene a partir del aprovechamiento del calor interno de la Tierra a través de las rocas y agua subterránea ya sea por conducción y/o convección mediante el intercambio de calor. La palabra energía geotérmica descende de la conjunción de dos palabras griegas: *geo* que significa Tierra y *termo* que significa calor, es decir, el calor de la Tierra.

La energía geotérmica es uno de los muchos tipos de energía renovable que es obtenida desde el calor de las capas que comprenden la Tierra. La corteza, que es la capa más externa, presenta un espesor variable de 5 a 35 km tiene una temperatura variable, que oscila entre los 15-20° centígrados desde la superficie hasta los 600-800° grados en el contacto con el manto.

El manto que es la zona intermedia con un grosor de 2900 km aproximadamente varía su temperatura de 100 a 800° centígrados en su parte superior y aproximadamente

1000° centígrados cerca del núcleo. El núcleo es la parte más interna de la tierra alcanza temperaturas de más de 4.000°.

Es abismal la diferencia de temperatura en las distintas capas de la tierra. Sin embargo, hay lugares donde la temperatura de esta aumenta exponencialmente llegando a alcanzar valores de hasta diez veces mayor al índice normal a diferencia de otros lugares. Estas zonas suelen coincidir generalmente con fenómenos geológicos como cordilleras formadas en épocas geológicas reciente, actividad volcánica reciente e incluso actividad sísmica elevada.

En general, los sitios más convenientes para el aprovechamiento de este recurso están cerca de los volcanes. Este fenómeno natural responde a que, en principio, existe una relación directamente proporcional entre la profundidad de la corteza terrestre y el calor; es decir, a mayor profundidad la temperatura aumenta.

Sin embargo, se suele dar un fenómeno por el cual el calor atrapado en el centro de la Tierra muchas veces asciende a la proximidad superficial. En ese sentido, la teoría de las placas tectónicas advierte que, como efecto del choque de éstas, una placa se superpone a otra mediante el proceso de subducción. En consecuencia, la placa que se incrusta hacia el centro de la tierra provoca que el material caliente -fundido- ascienda a lo largo de los cordones volcánicos de las cordilleras. Al ascender el calor, este puede ser aprovechado (Dickson & Fanelli, 2022).

El principio físico que permite aprovechar este recurso para la generación eléctrica ocurre debido a que se produce un “choque” de fluidos geotérmicos con una fuente de calor existente en las profundidades, como consecuencia de ello, la temperatura y la presión de los fluidos aumentan siendo expulsados a la superficie, esto permite accionar motores o turbinas generando así energía eléctrica.

La energía geotérmica es clasificada como un recurso natural renovable debido a

que el calor de un reservorio activo es continuamente restaurado de forma natural, y los fluidos geotérmicos extraídos se restablecen por recarga natural y por reinyección una vez empleados. Sin embargo, en dependencia de las características del sistema geotérmico es posible inyectar agua superficial y obtener el ciclo antes descrito (Pérez & Izquierdo, 2011).

Muchos estadísticos a principios del siglo XX vaticinaron que el uso excesivo del petróleo traería como consecuencia un declive en productividad de los derivados de este, lo que llevo a muchas naciones a innovar y buscar otras alternativas para poder producir la energía necesaria para poder mantenerse.

Es allí donde aparecen los primeros intentos de producción de electricidad geotérmica moderna y comienzan en Europa, específicamente en la Italia de Ginori Conti entre 1904 y 1905 cuando inician con el proyecto de la primera planta de energía geotérmica, la cual se materializó en el año 1913. Recibió el nombre de Landarello, la cual alcanzó 250kW y para 1950 alcanza los 30MW.

El año 1973 trajo consigo la primera crisis petrolera y con ella se produce una gran expansión en la generación de electricidad de formas alternativas a los combustibles fósiles. Ello ayudó a que la energía geotérmica fuese incorporándose sucesivamente en distintos países como Japón, Islandia y El Salvador en 1975; Suecia en 1979; Indonesia, Kenia, Turquía y filipinas en 1980; Nicaragua, Costa Rica y Guatemala en 1985-2000.

Lugares geotermia

Son tres los procesos relacionados que permiten que el aprovechamiento de calor de la Tierra sea posible, los cuales se localizan en tres zonas diferentes:

- Zonas de separación de placas con generación continúa de cortezas a partir de la ascendencia de magma. (por ejemplo, dorsales oceánicas).
- Zonas de encuentro de placas en las que se provoca subducción de una bajo la otra con la consiguiente fusión de corteza y generación de magma. (por ejemplo, arcos

circumpacíficos).

- Zona de actividad distintiva dentro de una placa, en las que se produce adelgazamiento de la corteza con el consiguiente ascenso del magma. (por ejemplo, es el caso de África, Europa y el oeste americano).

Tipos de yacimientos de energía geotérmica

Esta energía se obtiene a través de diferentes fuentes naturales o yacimientos geotérmicos como son:

- **Yacimientos de agua caliente:** Estos pueden formar una fuente en superficie o ser subterráneos, contenido en acuíferos. Hay principalmente dos tipos:
- **Tipo Fuente:** Se aprovechan desde la antigüedad para su uso como baños termales. Esto depende también de la temperatura del agua al usarse directamente o hacer uso de ellas enfriando el agua.
- **Tipo Subterráneos:** Este tipo de yacimiento de aguas termales muy calientes, están a poca o mediana profundidad y sirven para aprovechar el calor de la tierra mediante intercambio de fluidos.
- **Yacimientos secos:** Los yacimientos secos se encuentran en una zona bajo tierra de profundidad no excesiva en formaciones rocosas calientes sin presencia del nivel freático. Funcionan por medio de la inyección de agua y la extracción de esta con un intercambiador de calor para generar energía.
- **Géiseres:** Es una fuente de energía de tipo termal que emite periódicamente una columna de agua caliente y a su vez vapor.

El magma calienta el agua subterránea lo que hace que esta llegue a un punto de ebullición para poder salir a alta presión hasta el cráter donde sale a la atmósfera. El proceso de energía geotérmica no solo comprende el intercambio de calor con la Tierra

si no también el transformar ese calor en energía sustentable para el ser humano.

Normalmente el calor obtenido es extraído mediante bombas de calor geotérmico.

Este proceso, a su vez consta de una serie de turbinas que se encargan de convertir el vapor de agua en energía mecánica rotatoria para así poder actuar con un alternador, generando energía eléctrica que se altera mediante transformadores y se inyecta a la red eléctrica.

Investigación de Recursos Geotérmicos:

La determinación de los recursos de investigación de la energía geotérmica es similar a los empleados en la prospección de otros recursos minerales y energéticos. Incluso la recepción o la colección de datos es muy parecida a la recepción de los datos de aguas subterráneas e hidrocarburos.

El proceso de búsqueda de yacimientos geotérmicos e incluso su valoración se representa como una secuencia de fases cuyo fin es ir seleccionando áreas de mayores posibilidades hasta finalmente encontrar y valorar los recursos geotérmicos. A continuación, se muestra las distintas fases:

Ventajas de la energía Geotérmica:

- Su costo es mínimo además no implica mayores riesgos derivados de su extracción.
- Se puede obtener en cualquier parte de la corteza terrestre lo que reducirá notablemente la dependencia energética del exterior en muchos países, aunque el aprovechamiento óptimo está centrado en puntos muy concretos de la Tierra.
- Los residuos que produce son mínimos en relación con los generados por otras fuentes de energía como el petróleo y carbón.

Desventajas de la energía Geotérmica:

- Puede producir pequeñas cantidades de CO₂ ácido sulfhídrico en relación con el suministro energético que proporciona.
- Puede mezclar y contaminar acuíferos que estén próximos.
- Su instalación produce impacto visual, aunque las instalaciones modernas reducen significativamente dicho impacto, muchas de ellas se localizan completamente bajo Tierra por lo que el impacto es mínimo.
- Es una energía que no se transporta.

2.1.1 Investigaciones previas

En la investigación bibliográfica existen publicaciones entre las que se referencian las siguientes

Diseño de un sistema para calentamiento de agua aplicando energía geotérmica de baja entalpia para la hostería Agoyán provincia del Tungurahua, elaborado por Edison Omar Quispe Gaglay de la Universidad Técnica de Ambato. El proyecto tiene como meta proveer una alternativa energética que puede ser implementada en sistemas de climatización reduciendo consumos de energía eléctrica, de gas natural, butano o algún otro tipo de combustible (Quispe, 2022).

En la metodología se presentó un estudio para determinar el potencial geotérmico conociendo las propiedades térmicas del terreno con el fin de determinar las temperaturas máxima y mínima que tiene la tierra a una profundidad de dos metros con diez centímetros. Para concluir se realizó una evaluación económica de costo beneficio del proyecto para conocer su rentabilidad conociendo su inversión total y la vida útil del proyecto.

En la misma línea otro aporte denominado como “Requerimientos de

capacidades técnicas y contenidos de responsabilidad ambiental en mercados laborales verdes para energía geotermia”. Realizado por Nancy Nolzco del Colegio de la Frontera del Norte en Tijuana México. Donde se busca determinar los perfiles de empleo asociados a el desempeño productivo y sustentable de la industria geo termoeléctrica y compararlas con las destrezas solicitadas para aquellas que tengan asociado un impacto ambiental significativo, de acuerdo con la oferta educativa y programas de capacitación en el sector de energía geotérmica (Nolzco, 2016).

Para lo cual se detalla el proceso de desarrollo geotérmico, y se procede a la identificación de los productos principales del trabajo técnico que son esenciales para un desempeño productivo, sustentable del desarrollo geo termoeléctrico. Como conclusión de dicho estudio se encontró que, a pesar de que en la oferta nacional carece de programas de estudio específicos para este sector, los programas son suficientes para la generación de recursos humanos que se especialicen en las diferentes actividades, que requieren mejorar para alinearlos a las demandas específicas de los desarrolladores geo termoeléctricos a fin de disminuir los costos de capacitación y a su vez incentivar la inversión.

De igual manera se revisó el trabajo académico de Washington Carrasco de la ESPOCH titulado Caracterización y elaboración de un inventario de fuentes geotérmicas de baja entalpia en a la provincia de Chimborazo y propuesta de creación de un centro de investigación de energía geotérmica en la Espoch. Donde se elaboró un inventario de fuentes geotérmicas de baja entalpia con su respectiva caracterización física y química en la Provincia de Chimborazo, así como también se pudo proponer la creación de un centro de investigación dedicado al estudio de la energía geotérmica en la ESPOCH (Naula & Carrasco, 2012).

Se determinó sus aplicaciones dentro de los usos directos del calor como el uso turístico en balnearios debido a la alta temperatura y a las propiedades terapéuticas de las aguas termales, también para la calefacción de invernaderos, la piscicultura, secado de

alimentos y maderas, siendo estos los más aplicables a la región.

También se realizó una investigación del trabajo de doctorado titulado “Impacto ambiental de la energía geotérmica en aplicaciones residenciales mediante análisis de ciclo de vida”. Este trabajo basa su investigación en energías renovables que están en auge actualmente: la energía geotérmica. Dentro de este tipo de energías, el presente trabajo doctoral trata del análisis del impacto ambiental, basándose en el análisis del ciclo de vida, aplicado a las residencias unifamiliares o edificios de potencia baja. (Lorente, 2021).

Para examinar los impactos a consecuencia de generar esta energía, han sido desarrollados diferentes estudios que se han realizado para diversas instalaciones geotérmicas, con el objetivo de identificar semejanzas entre estos y la potencia de las instalaciones geotérmicas.

Finalmente, la elaboración titulada Dimensionamiento y selección de una central geotérmica basada en el ciclo rankine orgánico ubicada en el yacimiento geotérmico Jesús María Moquegua, realizado por Jesús Bulnes de la Universidad Pedro Ruiz Gallo en Lambayeque Perú (Bulnes, 2018).

En donde se tiene como objetivo Dimensionar y Seleccionar una central geotérmica binaria basada en el ciclo ORC (Ciclo Rankine Orgánico) aprovechando los pozos geotérmicos de media entalpía, del yacimiento geotérmico Jesús María en Moquegua, con la finalidad de reducir la contaminación ambiental, satisfacer la demanda creciente de energía eléctrica.

Se ha considerado trabajar con el fluido Isobutano. Se dimensionó y seleccionó el caudal en kg/s del fluido de trabajo el cual es de 101,1 kg/s. La inversión para la planta geotérmica es de S/. 56 000 000 y los ingresos anuales por venta de energía son de s/. 17 416 020. Se obtuvo un VAN de S/. 60 694 413 un TIR de 12 % por lo que nos demuestra que es un proyecto factible, atractivo para la inversión y rentable.

2.1.2 Evolución de las geotérmicas en el Ecuador

Con base en el estudio “Geothermal Development in Ecuador”, se indica que el potencial de generación geotérmica del país: 3.000 megavatios (MW). Los sitios de Chachimbiro (Imbabura), Tufiño (Carchi) y Chalupas (Cotopaxi) tendrían un potencial de generación de aproximadamente 534 MW.

A escala mundial, el país que tiene una capacidad instalada elevada para generación geotérmica eléctrica es Estados Unidos, mientras que en la región son: México, Costa Rica, El Salvador y Nicaragua. Además, los costos del kilovatio instalado varían actualmente entre los 4.000 dólares hasta a los 2.000 USD, esto va a depender de la tecnología.

En el Ecuador, en 1978 se inició la exploración geotérmica que se enfocó en la búsqueda de sistemas geotermales, principalmente en la región sierra, por medio del Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL). Entre las décadas de los ochenta y los noventa se realizaron algunos estudios exploratorios -con iniciativa estatal y privada- para localizar y aprovechar el recurso geotérmico en el país, de los que se obtuvo valiosa información de los prospectos potenciales de Chalupas, Tufiño, Chachimbiro, entre otros. Sin embargo, la iniciativa geotérmica no pudo continuar debido a que no existió ni la decisión política ni el financiamiento para avanzar con las perforaciones exploratorias.

A partir del año 2008, se retomaron las investigaciones relacionadas con este recurso energético a través del proyecto “Plan de Aprovechamiento Geotérmico” a través del Gobierno nacional y que estuvo a cargo del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), a fin de producir energía eléctrica limpia y renovable que permita sustituir la enorme dependencia del uso de combustibles de orígenes fósiles, y asu vez contribuir con la reducción de la contaminación ambiental y cambiar la matriz energética ecuatoriana.

En este proyecto se identificaron varios prospectos geotérmicos importantes, entre los que se incluyen Chalpatán, que está localizado entre los cantones Espejo y Tulcán (provincia de Carchi), cuya producción energética aportará con una potencia teórica aproximada de 130 MW.

Con la finalidad de promover la realización de esta iniciativa, se suscribió el “Contrato para Desarrollar los estudios de prefactibilidad del Modelo Geotérmico Conceptual de la Caldera Chalpatán”, con la Compañía General de Ingeniería y Sondeos S.A., de España. Como testigo de honor suscribió el Antropólogo Oscar Chalá, Subsecretario de la Zona 1 Norte de Senplades.

El objetivo es probar la existencia del recurso energético, a través del desarrollo del modelo geotérmico conceptual de Chalpatán, e identificar la ubicación de los sitios para las perforaciones de gradiente. Estos estudios implican complementar el estudio geológico, levantamiento topográfico, y el análisis de las características geoquímicas, geofísicas e hidrogeológicas, para definir el modelo y la ubicación de las perforaciones de los pozos exploratorios.

Se considera que la construcción de la planta geotérmica de Chalpatán podría aportar con aproximadamente 1024 MW/h de energía eléctrica al año al Sistema Nacional Interconectado, contribuyendo significativamente a la demanda de energía del país y de la población de la provincia del Carchi.

Cabe recordar como ya se ha mencionado la energía geotérmica es una energía renovable no contaminante, esta se obtiene por medio del aprovechamiento del calor que está almacenado en la corteza terrestre, este puede ser utilizado para la generación de energía eléctrica. Según datos del Consejo Nacional de Electrificación (CONELEC), los estudios geotérmicos realizados en el Ecuador han identificado 17 áreas para el aprovechamiento geotérmico con fines de producción de energía eléctrica, industrial y agrícola.

A través de este proyecto, el Gobierno Nacional apunta a la realización del Buen Vivir, pues se busca el abastecimiento de generación eléctrica a través de fuentes limpias que permitan alimentar el Sistema Nacional Interconectado, para ofrecer un servicio energético eficiente y de calidad.

2.2 Potencial Geotérmico

La capacidad instalada en el mundo es de 13.454 MW y se ha desarrollado en las últimas tres décadas, Estados Unidos y Filipinas son los países con la mayor capacidad instalada, unos 3.567 y 1.868 MW, respectivamente. No obstante, el potencial explotable de energía geotérmica en el mundo es mucho mayor. (Ritcher, 2017).



Figura 1 Capacidad instalada en el mundo

Fuente: Manual SMPA (Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético 2012)

En el caso de América Latina y el Caribe, el Banco Interamericano de Desarrollo o el conocido BID por sus siglas, publicó un informe pormenorizado del potencial geotérmico de

cada país. A rasgos generales, la región tiene un potencial geotérmico entre 11 y 55 GW. Sin embargo, actualmente en América Central, el Caribe, México y Chile cuentan con plantas operativas de generación con una capacidad total de 1.7 GW, una fracción del potencial de la región.

Tipo	Número de plantas en el mundo	Capacidad instalada en el mundo MW	Tamaño promedio de las plantas instaladas en el mundo MW
Vapor directo	62	2.878	46.5
binaria	236	1.178	5
flash	202	6.513	32
contrapresión	25	145	5.8

Tabla 1 Distribución del tipo de plantas en el mundo

Fuente: Cañizares y Jácome 2018

En el contexto ecuatoriano el desarrollo de la energía geotérmica está alineado con la denominada transformación de la matriz energética, se han realizado las primeras perforaciones exploratorias en algunas áreas con potencial, y la expectativa es contar con la primera planta en un periodo de 5 a 10 años (Banco Interamericano de Desarrollo, 2020).

Si bien existen distintas apreciaciones sobre el potencial del país para generar energía geotérmica, una estimación académica lo consideró en 3000 MW. La situación

geográfica del Ecuador lo convierte en un país con un interesante potencial geotérmico; sin embargo, no se han generado proyectos para el aprovechamiento de este recurso. Como se verá, no se ha expedido normativa específica que aborde las dificultades que tienen que sortear los proyectos geotérmicos.

Tipos de potencial geotérmico

Los tipos de potenciales geotérmicos dependen del nivel de estudio en el cual se encuentre un recurso, a continuación, se detalla las características de cada tipo de potencial.

- **Potencial teórico** se refiere a la capacidad en bruto que puede extraer de manera teórica de un recurso, sin considerar ninguna restricción.
- **Potencial geográfico** Potencial que se puede extraer en relación con las facilidades geográficas que presenta el área donde se encuentra dicho recurso.
- **Potencial técnico económico** Potencial que se puede extraer después de la realización de estudios técnicos, esto va a depender de la tecnología implementada en el diseño.
- **Potencial comercial** Potencial que se puede extraer después de costos de producción, las limitaciones económicas y costos de combustibles (Cañizares & Sanchez, 2018).

La figura 2 se observa el orden jerárquico piramidal de acuerdo con los tipos de potenciales tomados en consideración en este estudio para efectuar el análisis del potencial geotérmico en Ecuador.

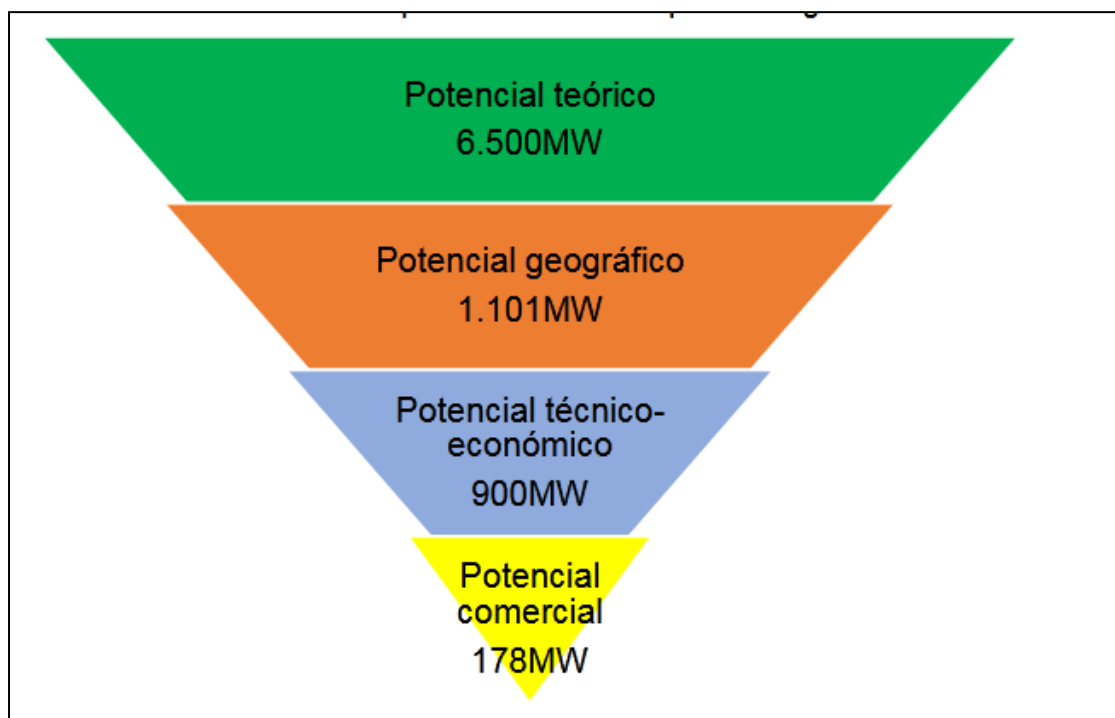


Figura 2.- Potencial Geotérmico

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable 2017

Marco legal

La Constituyente de Montecristi consideró a la energía en todas sus formas como un sector estratégico para el desarrollo del país, por ello de conformidad con el artículo 313, reservó para el Estado el derecho de administrarla, regularla, controlarla y gestionarla. Del mismo modo, el artículo 261, números 7 y 11, estableció la competencia exclusiva del Estado central sobre los recursos naturales y los recursos energéticos.

La Norma Suprema en su artículo 408 consagra la propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado de todos los productos del subsuelo. En consecuencia, al amparo de esta disposición, la geotermia correrá la misma suerte que los minerales e hidrocarburos.

Es así, en Ecuador el uso y la explotación geotérmica requerirá autorización expresa del Estado, en calidad de dueño de tales recursos, y al tratarse de un sector estratégico, la competencia queda reservada para su nivel central. Otro aspecto relevante, es que la Norma Constitucional impone en los artículos 413 y 414, la obligación al Estado de

promover la eficiencia energética y el desarrollo de energías renovables diversificadas; y, la obligación de adoptar medidas para atenuar el cambio climático por medio de la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y de la contaminación atmosférica.

Sin embargo, hasta el momento no se ha expedido legislación específica que regule los procedimientos de asignación, exploración y explotación de recursos geotérmicos. Lo que existe es un marco de carácter general, compuesto por la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE) promulgada en el 2015, que es desarrollada por su Reglamento General del año 2019, reformado en 2021.

La energía geotérmica es catalogada, junto con la solar, eólica, biomasa, mareomotriz e hidroeléctrica de capacidades menores, como Energías Renovables No Convencionales (ERNC); en ese sentido, la normativa define directrices para su aprovechamiento.

En el artículo 26 de la LOSPEE, se estableció la obligación del Estado de promover el uso de ERNC, y crear así un sistema eléctrico sostenible; del mismo modo, se contempla que estos recursos cuenten con condiciones preferentes en su regulación.

A manera de antecedente, es importante precisar que, por regla general, las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica serán realizadas por empresas públicas o mixtas en las cuales el Estado tenga la mayoría accionaria. El título por el cual se autorizan estas actividades toma la denominación de autorizaciones de operación.

La excepción para que estas actividades se deleguen a la iniciativa privada está establecida en el artículo 25 de la LOSPEE, bajo tres causales: (i) cuando sea necesario para satisfacer el interés público, colectivo o general; (ii) cuando la demanda del servicio no pueda ser cubierta por empresas públicas o mixtas; y, (iii) cuando se trate de proyectos de ERNC que no consten en el Plan Maestro de Electricidad. En estos tres casos, la participación privada toma la denominación de contratos de concesión, y en los dos

primeros casos se requiere de una licitación o Proceso Público de Selección (PPS).

Ahora bien, en cuanto a los contratos de concesión la ley prevé dos figuras: la generación y la autogeneración. La diferencia entre ambas radica en que los proyectos de autogeneración buscan cubrir los consumos propios de las empresas vinculadas a estos proyectos, y solo los excedentes pueden ser comercializados; mientras que, los generadores pueden comercializar directamente su energía con empresas distribuidoras, grandes consumidores y exportadores de energía.

El desarrollo del sector eléctrico debe obedecer a una planificación nacional, el legislador ideó dos herramientas para la elaboración de políticas públicas:

- El Plan Maestro de Electricidad (PME), actualizable cada 4 años, contiene un estudio de la proyección de la demanda esperada para el próximo decenio. En relación con las ERNC delinea la expansión de proyectos de generación.
- El Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE), con este se busca incrementar el uso eficiente de los recursos energéticos mediante la ejecución de programas y proyectos de eficiencia energética. Dada la situación actual en el país de la energía geotérmica, este segundo instrumento no contiene ninguna pauta aplicable a esta industria.

2.2.1 Centrales geotérmicas

2.2.1.1 Plantas de vapor seco.

Este tipo de planta se caracteriza por el utilizar directamente el vapor suministrado del yacimiento geotérmico para hacer funcionar las turbinas generadoras, y para continuar el ciclo el condensado es reinyectado. En Italia, la primera planta de este tipo fue construida en el año 1904. El aprovechamiento directo del salto entálpico del caudal geotérmico desde el reservorio hasta la salida de la turbina es una ventaja y como desventaja su alto grado

corrosivo, esto aumenta los costos por limpieza y mantenimiento (Cañizares & Sanchez, 2018).

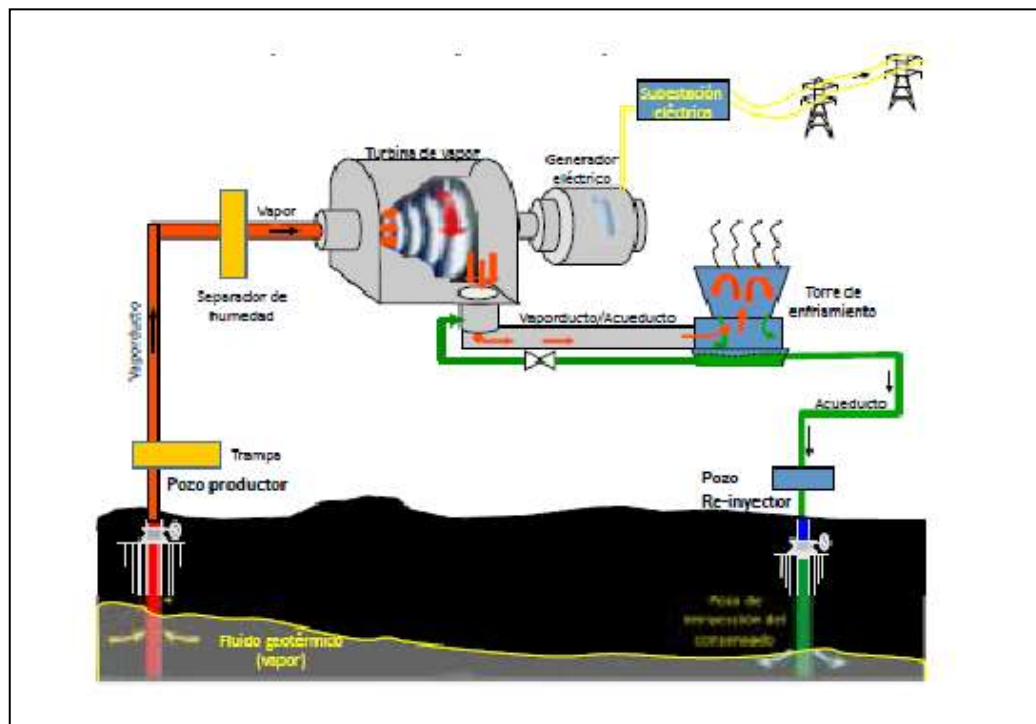


Figura 3.- Planta de Vapor seco

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable 2017

2.2.1.2 Plantas de vapor de destello.

Una de las más utilizadas debido a que usa agua caliente (temperatura mayor a 200°C) presurizada del interior del yacimiento. Se basa el proceso principalmente por la separación del vapor el cual es conducido a la turbina y del agua por medio de equipos denominados separadores a través de expansión isoentálpica al disminuir la presión (Bruni, 2014).

Al momento que el vapor sale de la turbina se dirige al condensador, el fluido de trabajo es reinyectado a la tierra (ESMAP, 2012). La eficiencia de este tipo de plantas es baja, pero esta puede ser aumentada a través de la incorporación una segunda etapa, se tendría una turbina de baja y otra de alta presión. Este sistema se denomina Doble Flash el cual permite aumentar el rendimiento en un 35% (Cañizares & Sanchez, 2018).

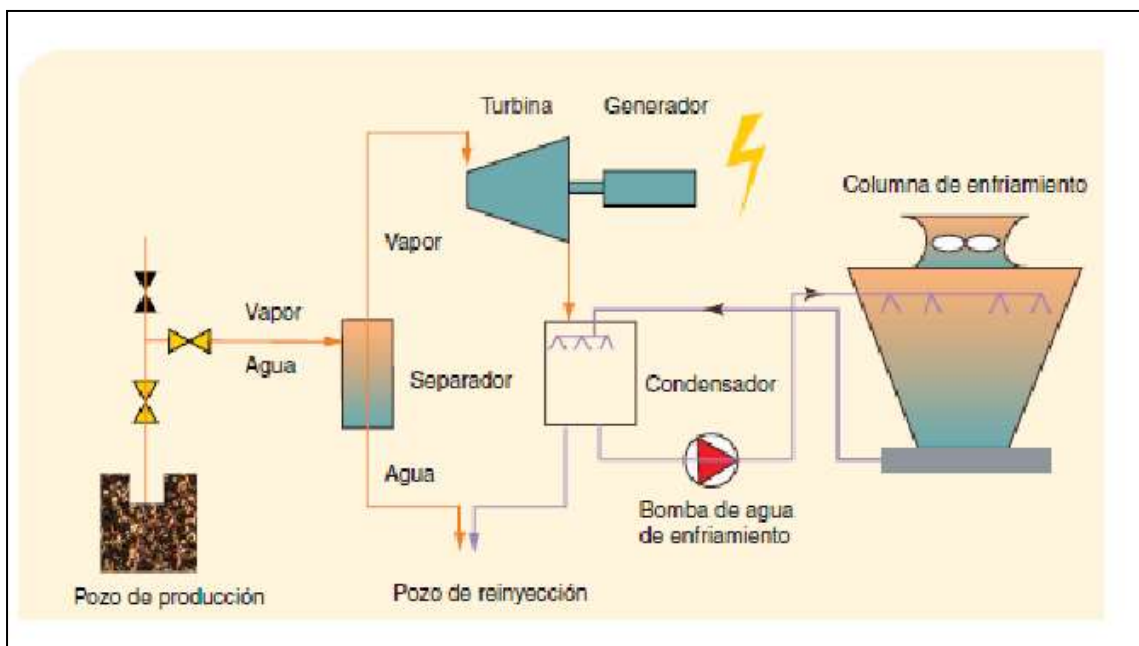


Figura 4.- Planta de vapor destello

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable 2017

2.2.1.3 Plantas ciclo binario.

Las temperaturas del reservorio son inferiores a 200°C y de baja entalpía, debido a que el calor es transferido a través del intercambiador de calor a un líquido orgánico de bajo punto de ebullición, como resultante el vapor del líquido orgánico es usado para accionar las turbinas generadoras de electricidad.

Los elevados costos durante la obtención de electricidad por la condensación del líquido secundario, también la baja eficiencia de este tipo de plantas son una desventaja.

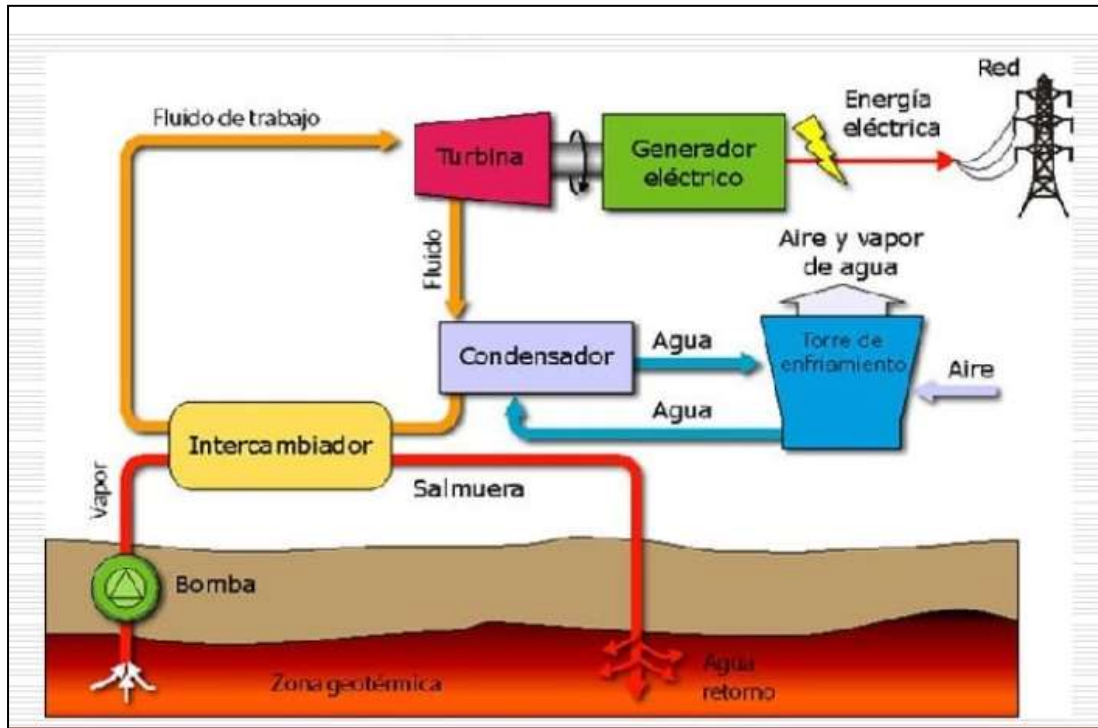


Figura 5.- Planta ciclo binario

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable 2017

2.2.1.4 Plantas de contrapresión.

Son sistemas de baja eficiencia y un elevado impacto ambiental, están basadas en turbinas a vapor instaladas directamente a la salida del pozo, estas utilizan cualquier tipo de flujo que es expulsado directamente al ambiente. Estos sistemas usan un intervalo corto de tiempo y solo para pruebas debido a su baja eficiencia y alto impacto ambiental, además genera un alto costo por mantenimiento (ESMAP, 2012; Sandro Bruni, 2014).

Se estima que la construcción de cualquier tipo de planta geotérmica dura aproximadamente entre 3 a 10 años, lo cual representa costos de inversión alta (OLADE, 1986).

2.3 PROCESO DE EXPLOTACION GEOTÉRMICO

Un sistema de explotación geotérmico está formado de una serie de elementos

específicos dentro de un área, donde es posible la transferencia de calor desde una fuente hacia una abertura. La fuente de calor, el reservorio o yacimiento y el fluido son los principales elementos (Coronado y García, 2015) (Ver tabla 2).

Elemento	Características
Fuente de calor	<p>Roca caliente, cámara magmática o gases calientes (que calientan el fluido) de origen magmático</p> <p>Temp. > 600 °C Prof. > 2 Km</p> <p>“El corazón de un sistema geotérmico lo constituye la fuente de calor. Si las condiciones son propicias, los demás componentes pueden ser convenientes artificialmente” (ISAGEN y BID, 2012:18).</p>
Reservorio geotérmico o yacimiento geotérmico	<p>Es el calor concentrado por medio del volumen de rocas calientes permeables en las que transite fluido geotérmico a profundidades económicamente aprovechables y con calor y presión suficiente para trasladar el vapor a la superficie).</p> <p>En la Ley de Energía Geotérmica (2014) se la conoce como “La zona del subsuelo integrada por rocas calientes con fluidos naturales, y cuya energía térmica puede ser económicamente explotada para generar energía eléctrica o en diversas aplicaciones directas”.</p>
Sistema de suministro de agua	<p>Se lo define como el “sistema de fallas o diaclasas en las rocas que admiten la recarga del reservorio geotérmico con el agua que se infiltra en el subsuelo” (ISAGEN y BID, 2012).</p>
Capa sello	<p>Es la capa que frena que los fluidos geotérmicos se esparzan en la superficie a través de un estrato impermeable que envuelve el reservorio, lo contiene y evita la pérdida de agua y vapor (ISAGEN y BID, 2012)</p>
Fluido geotérmico	<p>“Es el medio que transfiere el calor” (Dickson y Fanelli, 2004:7). Es agua, en su fase líquida, de vapor o en combinación, que se encuentra en el 19 reservorio geotérmico y que puede surgir a la superficie de manera natural mediante manantiales de aguas termales o pozos geotérmicos. (Son calentados por la roca caliente, el magma o gases volcánicos, es decir la fuente de</p>

	<p>calor).</p> <p>La Ley Geotérmica define un Recurso Geotérmico como “Recurso renovable asociado al calor natural del subsuelo que puede ser utilizado para la generación de energía eléctrica, o bien, para destinarla a usos diversos.</p>
--	---

Tabla 2.- Elementos de un sistema geotérmico
Fuente: Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético 2012

Menciona DiPippo (2012) que para que los elementos que conforman un sistema geotérmico sean susceptibles de explotarse comercialmente para generar electricidad, deben cumplir con las cinco características para que sea considerado viable el recurso geotérmico hidrotermal:

- a) una fuente de calor grande.
- b) un depósito permeable.
- c) un suministro de agua.
- d) una capa superpuesta de roca impermeable.
- e) un mecanismo de recarga confiable.

Si se falla en una de estas características o se tiene muy débil hará que no sea redituable la explotación de ese sistema particular, sin embargo, dichas deficiencias se han solventado a través de prácticas e investigación siempre y cuando excepto para las características de fuente de calor grande y capa sello.

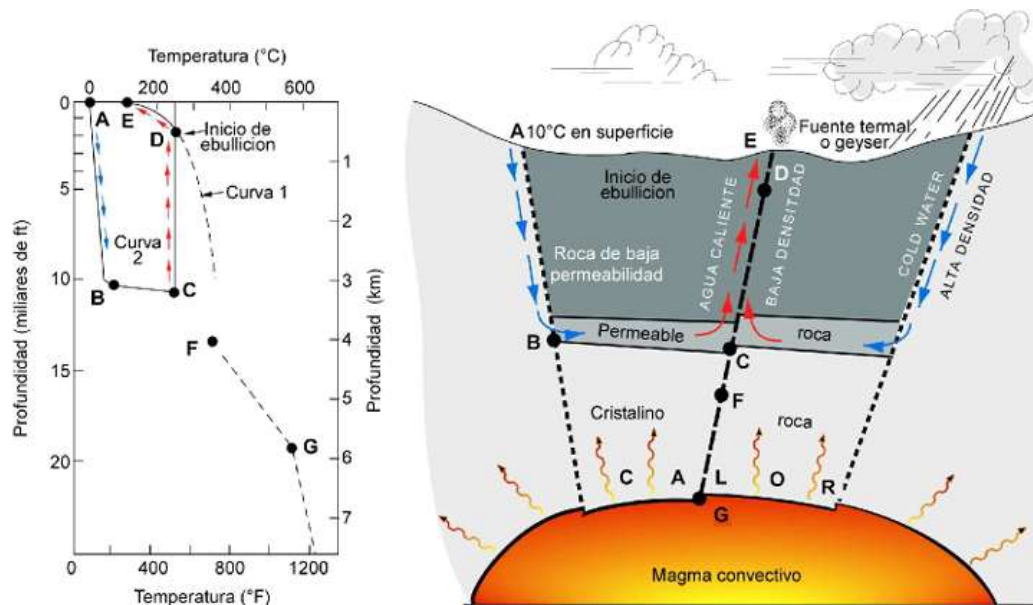


Figura 6.- Recurso geotérmico hidrotermal

Fuente: Guía de Energía Geotérmica. FECM. Madrid España. 2008

De acuerdo con la figura 6, el agua de recarga en frío se genera en forma de lluvia al punto A, esta se infiltra a través de fallas y fracturas existentes dentro de la formación donde entra en contacto con las rocas calientes. La capa permeable brinda una vía de menor resistencia en el punto B y como el líquido se calienta se hace menos denso y tiende a subir dentro de la formación.

Si se encuentra una falla mayor en el punto C ascenderá hacia la superficie, perdiendo presión a medida que sube hasta que llega al punto de ebullición para su temperatura en el punto D. Ahí flashea en vapor que brota como una fumarola, una fuente termal, un mud pot, o en un estanque de vapor caliente en el punto E. La curva de ebullición es el lugar geométrico de temperaturas de saturación que corresponden a la presión hidrostática del fluido local (DiPippo, 2012).

Exploración de recursos geotérmicos.

Podemos mencionar que no existe otra manera como el proceso de perforar profundamente más conocido como "Full size producción well", para tener la seguridad si

la presencia y capacidad del recurso geotérmico en una área específica es idóneo para su explotación a nivel comercial, sin embargo, para los proyectos geotérmicos, uno de los principales obstáculos que enfrenta la industria es el riesgo elevado por el costo de experimentar el recurso, por motivo de que el proceso de perforación es muy costoso y complicado, por lo que es necesario, anticipadamente, llevar a cabo un programa complejo de exploración superficial y a detalle que contribuya tanta información como sea posible, con el objetivo de reducir la incertidumbre y los costos asociados por fallas.

La clave del éxito de la exploración geotérmica es desarrollar un buen modelo conceptual del recurso geotérmico potencial (Taylor, 2007). El resultado del trabajo de reconocimiento y exploración se agrupa y resume en un modelo conceptual que explica con base en la investigación y evidencias encontradas lo que sucede en el subsuelo del área de exploración, y este es el mecanismo para la toma de acertadas decisiones en relación a la instalación y objetivos de perforación de pozos exploratorios para empezar con la siguiente fase de exploración y, más tarde, conforme se va avanzando en cada una de las etapas del proyecto, este modelo se enriquece con la información que cada etapa vaya aportando, con lo que progresivamente alcanza una mayor validez.

Por cuanto una oportuna actualización del modelo conceptual es muy importante porque ayuda a reducir la incertidumbre para la toma de decisiones al minimizar el riesgo de cometer un fracaso al momento de la perforación.

Aunque la secuencia técnica y medios para el despliegue de proyectos geo termoeléctricos, que van desde su reconocimiento, localización y hasta la puesta en marcha, la operación y la ejecución de mantenimiento tiene a nivel internacional similitudes y generalidades, resulta necesario mencionar que la forma específica de aplicación de las herramientas, técnicas y los métodos de procesamiento en cada una de las fases del proyecto es única y atiende a características diversas como las físicas, químicas y hasta de temperatura, así también como a restricciones económicas relacionadas a razón costo-

beneficio, se incluyen legales y sociales, entre otras, para cada prospecto y de acuerdo a cada país.

Fase 1. Reconocimiento preliminar

Es importante que antes de elaborar un programa de exploración en un sitio específico se debe llevar a cabo un primer reconocimiento a una escala nacional o regional. Los desarrolladores tienen como objeto durante la fase de identificación de obtener la mayor cantidad de información posible acerca de los recursos potenciales, así también como las consideraciones socioeconómicas y políticas que respalden la mejor toma de decisiones manteniendo al mínimo los costos generados, los cuales en esta fase generalmente se asumen bajos con el objetivo de atenuar el costo futuro, riesgo en la exploración, perforación y producción, esto permite un mejor acceso al capital (Coronado et al., 2015).

Consiste en aplicar los métodos económicos que cubran áreas extensas y que justifiquen por medio de una razón elevada entre beneficio y costo, cuyo resultado proporcione una idea ampliada de dónde pudiera estar ubicado algún recurso geotérmico.

Para este punto, se asume que una parte del conocimiento regional ya está cubierta por investigaciones previas y programas de investigaciones propios de los países con experiencia en la producción de recursos geotérmicos como México (Quijano, 2007).

Además, la información que se indaga se relaciona con actividades de exploración previa de minerales y petróleo e información geológica y geofísica (Sinclair Knight Merz, 2005). El estudio preliminar ayuda a pronosticar, desde el inicio los posibles obstáculos para el desarrollo e incluye dos componentes, información técnica-geológica y no geológica.

Se debe tener en cuenta que la información geológica hace referencia a una revisión literaria acerca de datos geológicos, hidrológicos, imágenes satelitales y aéreas, entre otras, mientras que la información no geológica se refiere acerca del mercado eléctrico y posibles acuerdos de compra de energía, cuestiones de infraestructura tales como vías de

comunicación, transmisión, agua, carreteras, esquemas institucionales, regulatorios, de impacto ambiental y sociales e información anecdótica para predecir posibles obstáculos sociológicos o ambientales que deban ser tratados durante el desarrollo del proyecto geotérmico.

En forma generalizada se puede mencionar que esta primera fase se fundamenta en un estudio de gabinete para situar las zonas potenciales de existencia de recursos geotérmicos en áreas extensas, por eso a esta etapa se la suele denominar etapa de exploración regional.

Es importante mencionar que los organismos de investigación geotérmica internacionales, quienes documentan toda la información relacionado con investigaciones sobre desarrollo geotérmico, algunas entidades como la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), la Asociación Geotérmica Internacional (IGA), el Banco Mundial, a través de la Corporación Financiera Internacional (IFC), Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético (ESMAP), la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se considera que, por su extensa disponibilidad la recolección de datos geológicos es una tarea fácil en relación al resto de las etapas que proceden en los proyectos geotermoeléctricos, también entre los grupos de exploradores del sector hay obstáculos muy frecuentes para la recolección de información, entre los que se pueden mencionar debido a que la información no está digitalizada y se vuelve más difícil de obtener, por la tendencia de confidencialidad de sectores del petróleo/gas y minero o siempre están dispuestos a compartir los resultados de sus estudios previos de exploración que serían los más funcionales y una contribución importante a la reducción de costos de exploración e incluso, aunque algunos sean compartidos, son investigaciones que se realizan hace mucho tiempo (Taylor, 2007).

Por tanto, se puede asegurar que “Cada geólogo, tiene su método propio de localización de los datos requeridos” (Taylor, 2007: 6). Las actividades que suelen llevarse

a cabo en esta fase son:

Inventario o recolección de datos

Este es el primer paso donde se recopila y revisa toda la información que existe a nivel nacional y regional que correspondan a indicios de posibles zonas geotérmicas, para esto es fundamental que se revisan los estudios geológicos previos, mapas geológicos, imágenes vía satélite y aéreas y datos meteorológicos e hidrológicos que proporcionen evidencias de recursos geotérmicos, tales como manantiales termales y zonas de alteración hidrotermal, además de investigaciones de aguas subterráneas y de riesgos geológicos (Sierra y Pedro, 1998:14; Prol, 1997:37; ISAGEN y BID, 2012; IGA, 2014:42, Sinclair Knight Merz, 2005 y Geotherm Ex Inc et al, 2013).

También se debe incluir información referente a los procesos de tenencia de la tierra y del uso de suelo, derechos sobre el recurso geotérmico, los aspectos de regulación ambiental, aspectos sociales tales como áreas protegidas, peligro geológico, espacios culturales, derechos indígenas, distancia a centros de población, entre otros (Gehring & Loksha, 2014).

Las publicaciones anteriores a estas décadas no incluyen el pensamiento más reciente en relación con la teoría de tectónica de placas, la cual suministra “las herramientas básicas para lograr entender los orígenes de los recursos geotérmicos de alta temperatura” (DiPippo, 2012: 3). Del Inventario Nacional de Energías Renovables de la Secretaría de Energía (SENER, 2015).

En el marco de la Estrategia Nacional de Energía, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE) han publicado respecto al potencial geotérmico preliminar del país y referente a los asuntos regulatorios relacionados a fin de promover el desarrollo eficiente de la generación de energía eléctrica por particulares (Hiriart & Bert, 2011).

Se debe mencionar que a nivel global, la Agencia Internacional de Energías

Renovables (IRENA) y la Agencia Espacial Europea (ESA) elaboraron el Atlas Global de Energías Renovables de IRENA, que es una valiosa herramienta de uso al público que reúne mapas de 67 gobiernos y bases de 50 centros de datos (IRENA, 2015).

Además, estos recursos informativos son una excelente base para poder iniciar la localización de los recursos geotérmicos probables de existencia, aunque, como se mencionó, conforme la escala de especificidad es menor la dificultad de obtener datos aumenta.

Inspección topográfica nacional

En esta etapa se investiga acerca de estudios geológicos disponibles que estén acompañados de imágenes de satélite y aéreas que resalten rasgos superficiales, la preferencia entre una y otra depende del costo y extensión del área, las primeras son más baratas, tienen menor resolución y abarcan áreas más grandes, entre alguna de las dificultades que se menciona es que mientras las imágenes aéreas son más costosas, pero tienen mayor resolución por lo que se prefieren en áreas de menor tamaño (Coronado et al., 2015).

También se utilizan mapas topográficos que muestren superficies permitidas para el desarrollo geotérmico, se observa si hay zonas adjudicadas alrededor u otros derechos de uso o restricciones de uso de suelo, entre otros (IGA, 2013).

Es relevante tener en cuenta que un campo geotérmico de aprovechamiento comercial debe presentar al menos las siguientes características:

- a) Anomalía térmica o fuente de calor. Esta puede ser magma de alta temperatura en la corteza terrestre, roca o gases calientes.
- b) Un yacimiento económicamente explotable (profundidades limitadas a equipo de perforación y costos asociados) conformado por rocas permeables que permitan la circulación del fluido geotérmico.

c) Una barrera impermeable o capa sello que cubra el reservorio y evite la pérdida de calor

El gradiente geotérmico, determinado como el aumento de temperatura de la tierra con la profundidad es un buen indicador del potencial geotérmico de un espacio ya que sus valores normales equivalen a un aumento aproximado entre 25 y 30°C/km, las zonas donde el gradiente térmico es mayor será donde se haga una primera consideración y se espera que existan las características propicias para desarrollos geotérmicos (ISAGEN, 2012).

Tener en cuenta que los reservorios geotérmicos son una red de roca fracturada a través de la cual se presenta percolación de fluidos (Taylor, 2007: 4). Para campos geotérmicos de alta temperatura para la producción de electricidad, las zonas a las que se les da mayor atención son aquellas “de vulcanismo reciente, relacionadas con fajas sísmicas” debido a que alrededor de áreas volcánicamente activas, cerca de los límites de las placas tectónicas es donde, generalmente, se hallan los mejores campos geotérmicos (ESMAP, 2012).

Aunque los yacimientos geotérmicos se localizan principalmente en regiones con actividad tectónica activa y magmática, la ubicación de un país entre las márgenes de las placas litosféricas no garantiza la presencia de yacimientos económicamente viables (Coronado et al., 2015).

Sobre la base de este argumento, además debe considerarse la posibilidad de indicadores sutiles para lograr la identificación de los yacimientos geotérmicos que se encuentran en ocasiones ocultos que no tienen aguas termales o fumarolas, para estos casos las manifestaciones superficiales son menos evidentes e incluyen entre algunos componentes roca alterada, costras de sal/evaporitas, tobas, travertinos, escoria, ópalo, de los cuales son detectables por medio de técnicas de teledetección (Taylor, 2007).

En este punto, un conjunto de herramientas eficaz del equipo de exploración

geotérmica es la teledetección, esta ha facilitado la localización de las manifestaciones termales al brindar imágenes de grandes áreas de terreno (satelitales/aéreas) conociendo las características de los terrenos en relación al potencial geotérmico antes de explorarlos, esto resulta muy importante para la toma de decisiones, ya que se puede hacer un primer balance de las condiciones de acceso y de los requerimientos de obtención de derechos de la tierra sean favorables en relación a los beneficios que se pueden esperar (Shah et al., 2015).

Por esta razón la herramienta de teledetección ha tenido un rápido progreso tecnológico ya que permite identificar las manifestaciones superficiales menos evidentes que se mencionaron (Taylor, 2007). Es importante mencionar que antes de elegir el área y diseñar el programa de exploración, es el explorador quien debe identificar los posibles conflictos potenciales y las posibles formas de poder abordarlos, además que, si hay asentamientos o comunidades cercanas, sus pobladores deben estar informados de los impactos positivos y negativos que resulten del proyecto desde el inicio, para lo cual es necesario entender la percepción de la comunidad y se debe mantener una buena comunicación efectiva y cordial (IGA, 2014).

También es relevante las Evaluaciones de Impacto Ambiental y permisos obligatorios cuando el desarrollador comprueba mediante estudios técnicos que alguna área pueda contener un recurso económicamente factible, se debe registrar el proyecto ante las entidades reguladoras nacionales y atender los requisitos específicos en materia ambiental (Dan Jennejohn et al., 2010). Uno de los puntos más trascendentales en materia de impacto de los desarrollos geotérmicos es la relación que tengan con la disponibilidad de agua subterránea y la calidad en el contexto local (IGA, 2013).

Al momento de identificar un área geotérmica que se cree que viable económicamente, el grupo de exploración debe tomar la decisión sobre si el terreno que consideran que podría sostener algún recurso geotérmico, tomando en consideración

además del conocimiento geológico obtenido. Las restricciones regulatorias nacionales y locales en materia ambiental y social. Las más comunes son Áreas Naturales Protegidas, Reservas ecológicas y zonas urbanas (ESMAP, 2012).

Si en el área previamente identificada como viable se cree sobre la existencia de algunas fuentes de conflicto, una de las mejores prácticas a realizar es que desde las etapas iniciales, en la selección del área, se establezca contacto y un diálogo permanente con todas las partes implicadas que pudieran resultar de alguna forma afectadas (IGA, 2013).

En los años recientes la aceptación social acerca de las tecnologías y los proyectos de energías renovables ha logrado la atención debido a los conflictos sociales en los que se ha comprobado que la desinformación y la falta eminente de comunicación entre desarrolladores y/o operadores y las comunidades y gobiernos locales se crean polémicas de diversas índoles.

Es importante mencionar que además el conocimiento público sobre la energía geotérmica se ha evidenciado que es insuficiente o erróneo, por esta razón es sustancial que desde la etapa de reconocimiento del área prospecto, si haya centros de población cercanos, se deban tener en cuenta las consideraciones éticas y sociales con base en concientización sobre los beneficios y riesgos, además de mantener una comunicación permanente entre todas las partes involucradas entre el gobierno, la industria, los científicos y la población a fin de neutralizar la falta de conocimiento.

Fase 2. Exploración geo científica

Al momento de identificar el o las áreas con potencial para el desarrollo geotérmico se procede a la exploración más detallada y científica que lleve a la formación de un modelo hidrogeológico con base a los estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos realizados (Sinclair Knight Merz, 2005).

Esta fase de exploración requiere geo científica en el sitio es decir geólogos, geofísicos y geoquímicos, que normalmente la primera visita es la del geólogo (Taylor, 2007). En esta etapa también se inician también las peticiones regulatorias que en cada país se requieran.

Se busca identificar el área que alberga un recurso geotérmico con suficiente energía para producir energía eléctrica a través de caracterizar la zona geotérmica, conocer el tipo de fluido, temperatura, composición química y además la capacidad de producir energía, la información resultante se utiliza para evidenciar si se procede o no a la siguiente etapa (Hance, 2005).

La información que se obtiene de este subproceso se emplea para lograr aumentar la probabilidad de éxito en la perforación de pozos de producción (Dan Jennejohn et al., 2010). La exploración detalladamente en esta segunda fase se rige por estudios de las geo ciencias que brindan los métodos adecuados para estimar la temperatura, profundidad, productividad y la sustentabilidad del recurso geotérmico en las condiciones específicas de cada proyecto (IGA, 2014).

A continuación, se detallan las principales características de los estudios geo científicos de exploración más relevantes y viables.

Estudio geológico

Este caso de estudio se caracteriza por evaluar si la actividad superficial está relacionada con las estructuras geológicas, para esto se debe realizar un mapa geológico muy detallado del área elegida y contiguas en el que se muestren las “manifestaciones termales y los rasgos geológicos, fallas, fracturas distribución superficial y a profundidad de los diferentes tipos de roca y su permeabilidad”, todos estos datos que contribuyan a la ubicación específica de los pozos exploratorios.

Resulta común que la primera persona en visitar y trabajar en el área identificada

sea un geólogo, idealmente son profesionales con alguna especialidad en sistemas volcánicos y su trabajo consiste principalmente en examinar las muestras de rocas, los sedimentos y lava de la superficie existente en el sitio (DiPippo, 2012).

El geólogo realiza un recorrido para explorar el sitio y sus proximidades, observar en detalle los indicios obvios y sutiles, tales como anomalías de vegetación, particularidades térmicas superficiales, fuentes de calor activas o geológicamente recientes, rocas o depósitos superficiales cualquier anomalía que pueda dar indicios de haber sido recientemente alterados, de esta manera, la distribución de todos estos rasgos permite deducir la geometría del subsuelo (Taylor, 2007 y Quijano, 2007).

Luego de la observación se realiza una evaluación de los mapas compilados en la etapa previa de reconocimiento del área, para ver si estos resultan precisos y apropiados, por esta razón en el recorrido se debe verificar las unidades geológicas que surgen y, si es preciso se corrigen o se efectúan nuevos mapas geológicos (IGA, 2014 y Quijano, 2007).

Las evidencias superficiales encontradas se relacionan a las características y procesos subterráneos de diversas formas, por ejemplo, la vegetación extraña de forma selectiva, o grupos de plantas inusualmente vigorosas pueden deberse como consecuencia de la acumulación de gases comunes en los yacimientos geotérmicos en el suelo (SO_2 , H_2S y CO_2) estos alteran el funcionamiento fenológico de las plantas (van der Meer et al., 2014).

Otro componente de relación entre lo que se observa en superficie y lo que no se ve en el subsuelo se encuentra al explicar el vulcanismo del sitio en el pasado.

Este proceso significativo debido a que da lugar a la formación de numerosos campos geotérmicos, por consiguiente, el resultado de tal proceso, que es visible en superficie con aspectos como la naturaleza y volumen del material expulsado durante las erupciones y su extensión, estos ayudan a entender ese proceso pasado enterrado y, en efecto, saber si el área ha sido afectada por fluidos geotérmicos (DiPippo, 2012).

La visita en el zona incluye realizar el levantamiento estratigráfico de las principales unidades litológicas (cuerpo rocoso con composición química y mineralógica relativamente homogénea), para lograr establecer los límites entre las unidades y de esta manera analizar a detalle las de mayor importancia geotérmica, como las relacionadas con la fuente de calor, el yacimiento y la capa sello (Coronado et al., 2015).

Estas muestras de rocas se deben georreferenciarse y consecutivamente se realizan los análisis petrográficos, geoquímicos y dataciones radiométricas para conseguir estimar la edad aproximada de los materiales eruptivos más recientes. Con esos resultados del estudio se puede mapear los patrones de fallas y fracturas.

Estudio Características

En este caso de estudio el levantamiento estratigráfico registra las formas, composiciones litológicas, propiedades físicas y geoquímicas, sucesiones originarias, relaciones de edad, distribución y contenido de fósiles, para poder reconocer y reconstruir secuencialmente los eventos geológicos, se deben Identificar las unidades litológicas que serán ordenadas y asociadas a un tiempo geológico deducido de la historia de cada cuerpo rocoso.

Estudio vulcanológico

En este caso la fuente de calor se asocia a los volcanes, se estudia la evolución volcánica y origen del magma en la superficie, destacando las unidades litológicas de vulcanismo reciente.

Estudio petrográfico

Es la descripción y categorización de rocas de acuerdo con su textura y composición mineralógica para proceder a evaluar la relación que existe entre sus cristales, lo que conlleva a establecer la naturaleza y el origen de las rocas existentes.

Estudio estructural a detalle

Se la define como la caracterización de los principales sistemas de fallas y fracturas relacionadas al reservorio y al límite del sistema geotérmico. Esta Ofrece información relacionada con la permeabilidad del reservorio, la sismicidad y la micro tectónica.

Estudio hidrológico

Este caso de estudio hidrológico se realiza para poder reconstruir el sistema de circulación del agua relacionado con las manifestaciones superficiales del área con los sistemas de fracturas, fallas y variaciones litológicas (van der Meer et al., 2014). La comprensión de los impactos del desarrollo geotérmico sobre la disponibilidad y calidad de las aguas subterráneas es crítica para la sostenibilidad de cualquier proyecto geotermoeléctrico (IGA, 2014). En este sentido, llevar a cabo la identificación regional de aguas superficiales y subterráneas que se espera que tengan un componente térmico, es uno de los trabajos más trascendentales para pronosticar una fuente de conflicto social y económico, así como las posibles rutas de abordaje (en caso de haberlas).

Estudio geoquímico.

Este caso de análisis químico es una de las actividades más importantes de la exploración (Taylor, 2007). Saber qué tan caliente pudiera encontrarse el recurso geotérmico en la profundidad pero sin realizar perforaciones, si es posible evaluando los minerales y manantiales en la superficie, debido a que puede indicarse cuál fue la temperatura necesaria que dio lugar a las propiedades de dichos elementos y, en función de esto, asumir la temperatura en la profundidad, de manera concisa, las manifestaciones superficiales del área anuncian la temperatura y condiciones fisiológicas en el subsuelo a través de su Ley de Energía Geotérmica:

Artículo 15.- Los permisionarios deberán informar a la Secretaría, de manera inmediata, si existe interferencia con acuíferos adyacentes al yacimiento geotérmico derivada de los trabajos de exploración realizados, presentando la evidencia documental y

de campo correspondiente. En caso de existir interferencia con acuíferos adyacentes, el asunto se someterá a dictamen de la Comisión Nacional del Agua, con base en dicho dictamen, la Secretaría resolverá, la conveniencia o no de realizar los trabajos exploratorios que regula esta Ley de propiedades (Dan Jennejohn et al., 2010).

Para poder inferir la temperatura desde de las propiedades del agua de las manifestaciones termales se emplean geotermómetros (ibid.). DiPippo (2012) menciona que a pesar de que los métodos y técnicas para desarrollar un estudio geoquímico son ampliamente conocidos y realizados, a menudo existen conflictos para la interpretación de los resultados de las pruebas, generalmente, prevalece la complejidad de responder en forma clara y precisa la temperatura del fluido geotérmico en las primeras etapas de la exploración caracterizadas por un elevado nivel de indecisión (comprobación de las pruebas hasta fases posteriores).

Los datos geoquímicos son esenciales ya que además de inferir en la temperatura de los recursos viables, ayudan a predecir la posibilidad y nivel de corrosión que puede esperarse y la interacción de los fluidos geotérmicos con el agua superficial cercana o con componentes magmáticos (IGA, 2014).

En este sentido, para conocer la distribución de la temperatura en la profundidad de los reservorios geotérmicos, comúnmente utilizan los algoritmos también llamados geotermómetros químicos, estos son diseñados para aguas de distintos ambientes geológicos y temperaturas (Nolazco, 2016).

Importante tomando en consideración que el movimiento de líquidos a alta temperatura alcanza un equilibrio con los elementos presentes en las rocas como cuarzo, sílice (SiO_2), Sodio (Na), potasio (K) y calcio (Ca), para determinar la temperatura del fluido (DiPippo, 2012).

Para los períodos de exploración y explotación geotérmica uno de los elementos más utilizado es el geotermómetro de sílice, son ecuaciones que determinan la temperatura

de acuerdo al contenido de la muestra de sílice (Nolazco, 2016).

Un argumento notable en relación con las habilidades y capacidades técnicas que se asocian al uso en esta fase, especialmente para los geoquímicos que utilizan estos geotermómetros de sílice, alcalinos, de aguas salobres y aguas marinas modificadas y mezclas de geotermómetros.

Se obtienen ecuaciones a partir de:

a) Los datos de resultante de reacciones químicas de la interacción roca-fluido;

b) Los modelos de regresión que son elaborados con información geoquímicos de pozos o manifestaciones termales

c) coeficientes resultantes de experimentación en laboratorios o expuestos en literatura, tecnologías y métodos. La capacidad de análisis y reconocimiento apropiado y corrección de los geotermómetros manipulados en esta etapa resultan de mucha importancia, ya que dichas técnicas son sensibles al proceso o comportamiento que siguen las muestras entre la profundidad del reservorio y, hasta alcanzar la superficie, en consecuencia, pueden lograrse resultados con diversificaciones de temperatura significativas que conlleven apreciaciones equivocadas de la temperatura del reservorio y repercutir directamente en las decisiones de viabilidad del recurso, aquí radica la importancia que en estas ocupaciones es indispensable comprender la dinámica y cambios de propiedades bajo diferentes esquemas y ambientes geotérmicos para tomar decisiones acertadas en relación a las técnicas de usar y la interpretación de los estudios geoquímicos con sustento en una base de conocimiento amplia y segundo, conforme sea viable, en experiencia práctica en la formación del modelo del yacimiento y la toma de decisiones correspondiente que impida fallas.

Fase 3. Perforación de prueba.

Esta fase es la que concreta el trabajo previo y, en consecuencia, concentra un mayor riesgo para inversores, para el ambiente y de manera general para la sostenibilidad

del proyecto.

- Lograr identificar si el recurso es dominante en líquido o vapor
- Pude estimar la temperatura mínima del fluido geotérmico
- Establecer las propiedades químicas de los fluidos del reservorio y en el estado producido
- Caracterizar el agua de recarga, esto incluye en su naturaleza y fuentes.

Esta fase es decisiva las responsabilidades de la geoquímica tecnología, la toma de decisiones para lograr minimizar los riesgos indicados y asociados al proceso de perforación, el siguiente párrafo esclarece esta idea y da muestra de la importancia del trabajo en esta fase: “La perforación geotérmica es una corriente sin fin de decisiones difíciles.” (Taylor, 2007)“, Suponga que un taladro ha conseguido llegar a una profundidad significativa, justo por encima del depósito predicho. Cementan la sección perforada y proceden a perforar en la zona de producción propuesta.

En este punto el operador de la perforadora debe ser extremadamente cuidadoso en cuanto a la rapidez de su trabajo y hasta qué punto entran en este estrato. Perforan en una roca fracturada que se localiza bajo una enorme cantidad de presión. Se afronta el riesgo de que la barrena quede atrapada o suceda un colapso del pozo, produciendo que pierdan el pozo en su totalidad.

Hay registros de casos en que la barrena, y las pocas articulaciones principales de la cadena pueden quedar atrapadas. Esto sucede por un proceso de captura o cuando se aplica demasiado esfuerzo de torsión al tren de tubería de perforación y la sección inicial cizalla (hace un esfuerzo cortante).

Esta parte atrapada se denomina como 'pez', y los esfuerzos para recuperarlo, naturalmente, como 'pesca'. Si el pescado no se logra recuperar, el equipo de perforación

tendrá que desistir al pozo o a su vez se puede colocar un saque de salida encima del pez para taladrar en una dirección diferente a la anterior.

Se enfrentará en el camino a posibles obstáculos hacia la profundidad del objetivo.” (Taylor, 2007: 37) Como se puede observar, de acuerdo con (Flóvenz, s/f) “No existe un procedimiento de exploración único, ya que se pueda utilizar universalmente a todos los campos geotérmicos”.

Por esta razón los recursos humanos obtienen gran relevancia, independiente del uso de la tecnología, el nivel de conocimiento y la pericia con la que desarrollen las actividades laborales que alcance e interprete el conocimiento previo resumido en el modelo conceptual desarrollado hasta esta etapa y que luego cubra todo el proceso de manera eficiente y efectivo.

Fase 4. Desarrollo de campo

Al momento que se ha completado las actividades de un pozo de producción, el equipamiento debe incluir un separador de la fase líquida (salmuera) de la fase de vapor y que es enviada a las turbinas generadoras. La salmuera separada está compuesta por minerales disueltos en concentraciones más elevadas que en el depósito y esto puede provocar efectos negativos para la superficie o las aguas subterráneas si estas llegan a mezclarse, para prevenir esa contaminación se reinyecta al yacimiento (DiPipo, 2012).

Una vez que se determina la presencia de algún recurso geotérmico, para lograr identificar la viabilidad o no del proyecto es relevante conocer el precio de la energía (venta), las condiciones del acceso al área y la disponibilidad a la red de transmisión eléctrica, además de conocer el tiempo necesario que llevará iniciar a producir (Taylor, 2007).

CAPITULO 3

3.1 Potencial Geotérmico, Mapas geotérmicos para determinar el lugar optimo

3.1.1 Potencial térmico del Ecuador

Mapas Térmicos

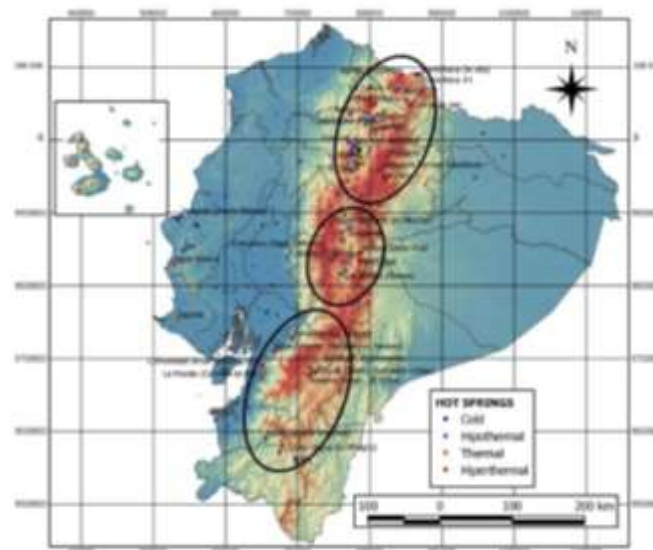


Figura 7.- Estudio del reconocimiento Geotérmico Nacional

Fuente: OLADE

3.1.2 Estado de la geotermia en el Ecuador

La exploración de los recursos geotérmicos en Ecuador se inició en 1979. Tres décadas más tarde, los proyectos geotérmicos de alta entalpía de Chachimbiro, Chacana y Chalpatán han llegado a la etapa de prefactibilidad avanzada, mientras que el proyecto Tufiño-Chiles está actualmente bajo investigación. La actual explotación de los recursos geotérmicos en el Ecuador se limita a balnearios y piscinas.

El potencial total geotérmico del país se estima entre 1700 y 8.000 MWe teniendo en cuenta el hecho de que el país está atravesado por más de 40 volcanes activos. La

capacidad total instalada de energía geotérmica para usos directos en 2014 fue de 5,16 MW y hasta la fecha no existe alguna experiencia exitosa en el aprovechamiento del recurso debido al desconocimiento de la tecnología, escasez de personal técnico ecuatoriano especializado, decisión política, marco regulatorio y fuentes de financiamiento para inversiones de riesgo.

3.1.3 Centrales de alta entalpia

Proyecto Tufiño-Chiles

Los países de Ecuador y Colombia un acuerdo binacional firmaron en julio de 2010 con la intención de estudiar la viabilidad para desarrollar un proyecto de generación de energía eléctrica, que este basado a partir de recurso geotérmico, por medio del Ministerio de electricidad y Energía Renovable y del Ministerio de Minas y Energía, identificado en la frontera de ambos países

Funciona a una temperatura de 230°C para el reservorio (OLADE, INECEL, ICEL, Aquater, 1987), de acuerdo con Datos MT (Magneto-Telúrico) confirman la presencia de un recurso de alta temperatura (ODIN, 1994).

El resultado del estudio de gabinete de revisión del proyecto geotérmico Tufiño-Chiles- Cerro Negro se presentó en 3 fases:

En la primera fase los datos existentes fueron examinados a fin de:

Poder identificar los vacíos y deficiencias en los conjuntos de datos geológicos, geoquímicos, hidrogeológicos y geofísicos disponibles. Lograr brindar una estimación preliminar del recurso potencial, además identificar los riesgos del recurso.

La segunda fase se enfoca en direccionar un programa de exploración para evaluar con mejor detalle el recurso.

La tercera fase proporciona información como los requerimientos corporativos, humanos y técnicos para realizar actividades de exploración.

En la cuarta fase proporciona un programa de desarrollo con metas al aprovechamiento del recurso. En caso de ser positivos los estudios de prefactibilidad y se asegure la existencia de un recurso de alta temperatura, se procederá a realizar los estudios de factibilidad y estos demostrarán la capacidad de producción del recurso. En caso de ser positiva la etapa de factibilidad prosigue con los diseños finales y el desarrollo de la central.

Proyecto Chacana

El proyecto geotérmico Chacana está ubicado a 60 km al E de Quito, principalmente en la Provincia de Napo. Chacana tiene potencial para albergar sistemas geotérmicos someros (1 a 3 km de profundidad) de tipo hidrotermal convectivo, así como también sistemas geotérmicos profundos de tipo EGS (Enhanced Geothermal Systems) (Beate & Salgado, 2010).

El Modelo Geotérmico Conceptual está definido en la mitad sur de la caldera de Chacana existen 4 áreas con interés geotérmico: Cachiyacu, Jamanco, Chimbourco y Plaza de Armas. Cachiyacu posee un potencial promedio de 39 MWe mientras que Jamanco 13 MWe promedio.

Los estudios de prefactibilidad inicial se realizaron durante el periodo comprendido entre julio 2011- abril 2012, estos radicaban en la integración de estudios de geología, geoquímica y geofísica del área de estudio. Basadose en los modelos conceptuales optimistas de Cachiyacu y Jamanco, se definió el tamaño posible del recurso para estos dos prospectos.

El área superficial probable para Jamanco es de 0.87 km², con una potencia media estimada en 13 MWe. Para Cachiyacu la extensión probable del reservorio es de 2.6 Km² con una potencia estimada en 39 MWe.

Proyecto Chachimbiro

Chachimbiro puede alojar un reservorio geotérmico de tamaño pequeño a

moderado. La capacidad del recurso está en un rango de 13 – 178 MWe con un promedio de 81 MWe.

Se procede a realizar la evaluación de factores de riesgo posibles en la exploración, estos incluyen la temperatura del reservorio, la permeabilidad y la química de los fluidos, e indican que Chachimbiro es un prospecto relativamente riesgoso (Beate & Salgado, 2010).

Las principales inquietudes de riesgo del recurso están relacionada a la temperatura y la permeabilidad, mientras que un nivel de riesgo inferior lo proyecta la química de fluidos. Si la etapa de exploración resulta exitosa, la ejecución de perforaciones exploratorias requerirá diseñar un volumen del recurso que sea suficiente para asegurar un primer incremento de generación de energía.

En la fecha, se concluyeron los términos de referencia para dar inicio a las actividades de perforación exploratorias y así comprobar los modelos conceptuales, y se espera que los trabajos inicien Caldera ubicada a 20 km SO de la Ciudad de Tulcán con extensión aproximadamente de 130 km, una temperatura estimada del recurso: <120°C.

Proyecto Chalupas

A partir de datos de superficie, se estima un potencial de 283 MWe. La caldera ubicada a 20 km al suroeste de la ciudad de Tulcán con una extensión aproximada de 130 km². La temperatura estimada del recurso: <120° C (CGS-INP-CELEC EP). Y la energía Total: 483889 GWh (CGS-INP-CELEC EP).

3.1.4 Proyecto de Baja entalpia

Proyecto Baños de Cuenca

Se trata de un prospecto situado a 8 km al suroeste de la ciudad de Cuenca, mismo que posee una temperatura de equilibrio entre 80 y 140°C con un máximo de 200 °C en profundidad (INER, 2014).

Proyecto Ilaló

Este prospecto cuenta con una temperatura estimada del recurso entre: 85 a 105°C.

Con un caudal probable: 150 m³/h.

En Ijaló posiblemente las vertientes corresponden a salidas distales diluidas del sistema geotérmico de alta temperatura correspondiente a caldera Chacana, situado a 35 km al este (Beate y Salgado). La estimación de del uso del calor directo en algunos sitios turísticos del Ecuador, incluyendo los complejos turísticos de Termas Papallacta, Jamanco, Ijaló, Cunuyacu, El Tingo y las áreas de el Tambo y Cachiyacu que conjuntamente representaban una capacidad instalada de 1.35 MWT térmicos, una utilización anual de 26.74 TJ/año y un factor de capacidad de 0.633 (Beate & Salgado, 2010), esto implica tres áreas, Tumbaco-Cumbayá, Sangolquí-El Tingo, La Merced-Ijaló. El Ijaló se sitúa aproximadamente a 25 km al sureste de Quito.

Proyecto Chimborazo

Este prospecto está ubicado a unos 35 km de las ciudades de Ambato, Guaranda y Riobamba que posee una temperatura 140 y permiso ambiental.

- Estudios geológicos.
- Campaña de análisis geoquímicos de aguas y gases.
- Campaña geofísica.
- Pozos de gradiente

Proyecto Oyacach

Situado en la provincia de Napo, cuenta con poblaciones cercanas únicas que son Oyacachi y Cangahua a 10 y 18 km respectivamente. Está definido el Modelo Geotérmico Preliminar como el prospecto geotérmico Oyacachi se encuentra en la esquina NNW de la caldera de Chacana con un potencial aproximado de 104 MW. (Beate et al, 2011). Con una temperatura 150 y permiso ambiental. Dispone de estudios geológicos con énfasis en mapeo, dataciones y estructuras.

Salinas de Bolívar

Para este proyecto se elaboró el modelo geotérmico conceptual Salinas de Bolívar A 15 km al NNE de Guaranda, en la provincia de Bolívar.

Estudios de reconocimiento de proyecto

Esta localizado a 100 km al oeste de Guayaquil en la provincia de Santa Elena, en San Vicente. Estudios de reconocimiento.

3.2 Etapas al realizar un estudio de factibilidad

Al momento de realizar una propuesta de un estudio de prospección geotérmica en el territorio nacional, actualmente se pueden usar diversos métodos para identificar el sitio y caracterización de un campo geotérmico. Por la extensa cantidad de áreas que primero deben ser sometidas a estudios, y estimando los altos costos involucrados en la prospección, esto requiere de planificación de la exploración en etapas, las que se definen sucesivamente las zonas de mayor interés.

En cada etapa se debe ir eliminando gradualmente las áreas menos interesantes y concentrar los esfuerzos en aquellas zonas más promisorias. El INER propone la realización de estudios de prospección geotérmica a nivel nacional, para poder analizar con base en las actividades de reconocimiento de prospectos geotérmicos en Ecuador, por medio de estudios geológicos y geoquímicos en las zonas de interés geotérmico en territorio nacional, esto a fin de poder establecer el potencial geotérmico existente, priorizando las zonas de mayor interés en generación eléctrica y usos directos para favorecer a la diversificación de la matriz energética y productiva del país.

La prospección geotérmica requiere de diversas etapas inversas en el estudio, generalmente las siguientes detalladas a continuación:

- Estudio de reconocimiento. Se realiza en una zona donde la extensión comprenda entre 10.000 y 100.000 km². A fin de evaluar las posibilidades geotérmicas a nivel

regional, se recomienda optar por áreas de mayor interés y planificar las siguientes etapas de exploración.

- Estudio de pre-factibilidad. Este abarca una zona aproximada entre 500 y 2.000 km². En esta etapa se busca alcanzar una evaluación preliminar del recurso y, eventualmente, ubicar los sitios para la perforación de pozos exploratorios profundos.
- Estudio de factibilidad. La escala geográfica de un estudio de factibilidad es del orden de 10 a 100 km². Con el estudio se pretende delimitar la zona geotérmica, poder estimar las reservas explotables, analizar los fluidos geotérmicos y sus posibles usos. También, consolidar, analizar y valorar la información existente de las fuentes termales, así estudios, artículos científicos e informes antiguos y demás información documental que ayude a definir las condiciones y características iniciales de trabajo.
- Efectuar el control de calidad, depuración y discriminación de la información de interés y elaborar una línea base usando técnicas geológicas y geoquímicas para lograr identificar áreas de interés y planificar las campañas de campo a realizar.
- Realizar estudios de campo como geología regional y geoquímica de aguas y gases en los sitios selectos.
- Desarrollar modelos geotérmicos preliminares, partiendo de la interpretación integrada de los datos geológicos y geoquímicos recolectados.
- Estimar el potencial geotérmico en los sitios identificados como viables.
- Clasificar los proyectos geotérmicos, priorizando los proyectos de mayor interés, además de realizar un programa de estudios de prefactibilidad.

- Los costos de los métodos geoquímicos son bajos en comparación con otros métodos exploratorios como los métodos geofísicos, por esta razón las técnicas geoquímicas son utilizadas en la mayor medida posible, antes de usar otros métodos más costosos.

3.2.1 Proceso para investigar el área factible geotérmica

El proceso de investigación inicia con la recopilación de los estudios geotérmicos y de disciplinas afines tales como hidrología, vulcanología, a nivel nacional, entre otros.

- Elaboración de estado del arte a partir del análisis y discriminación de la información compilada acerca de estudios geotérmicos y disciplinas afines.
- Digitalizar la base de datos de recursos geotérmicos disponibles previamente analizados.
- Correlación y depuración de la base de datos a partir de estudios realizados.
- Realizar mapas de fuentes termales en función de los datos que cumplen con los requerimientos establecidos durante el control de calidad.
- Clasificación química de agua y gas a partir de las manifestaciones.
- Utilizar geotermómetros de agua y gas para estimar las temperaturas en la profundidad, esta información se plasmará en un mapa.
- Determinación de los sitios de estudio, por medio de la elaboración de un ranking de áreas con mayor incertidumbre en estudios geoquímicos y geológicos. para el reconocimiento preliminar de las áreas elegidas para realizar la exploración geotérmica.
- Elaboración de secciones geológicas en zonas de interés, para estimar la distribución estructural y lito estratigráfica en profundidad.
- Muestreo de manifestaciones termales en superficie de aguas y gases para realizar

el análisis físico- químico e isotópico.

- Combinar resultados geológicos y geoquímicos (Elaboración de modelos).
- Ponderación por tipo de recurso para la clasificación por geoquímica en medidas de alta, media y baja entalpía.
- Elaboración de mapa de recursos geotérmicos.
- Priorización de los recursos geotérmicos.

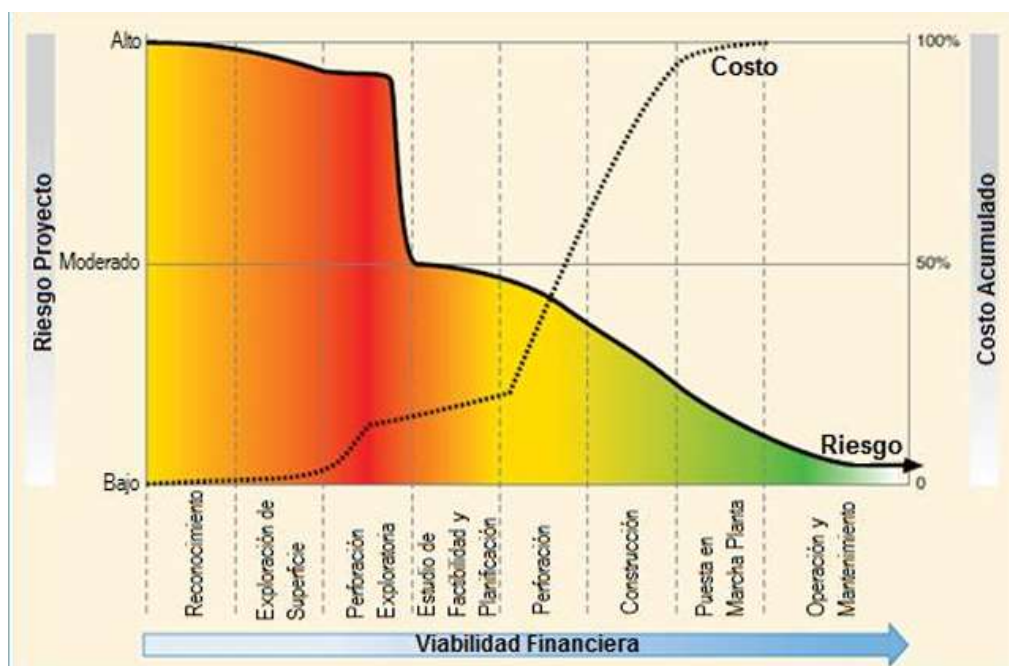


Figura 8.- Riesgo de un proyecto geotérmico vs. Tiempo

Fuente: GeoThermal Engineering Ltd.

Las investigaciones realizadas se llevarán a cabo por el equipo técnico de la línea de Geotermia del INER y de otros institutos públicos de investigación. El INER desarrollará los estudios descritos en su totalidad, no obstante, en zonas de conocimiento limitado de la geotermia se recibirá el apoyo y transferencia de información de especialistas internacionales de amplia trayectoria en el campo geotérmico y la colaboración va a ser un acompañamiento de tipo técnico.

El análisis de Causa-efecto evidencia una perspectiva global del problema que se denomina “El recurso geotérmico no es aprovechado en Ecuador”. Esto constituye el punto de inicial del trabajo.

Se identificaron treinta y seis causas, que se agrupan en cinco categorías: financiamiento, talento humano, política, legislación e información. Se requiere primero solucionar algunas causas desde la raíz para lograr la capacidad de realizar trabajos exploratorios.

Tales como objetivos, calendario, indicadores y responsables, que permitirán medir y evaluar los avances del proceso, como un Plan táctico.

Se han propuesto planes y proyecto desde el inicio de la geotermia en Ecuador, con la realización de actividades técnicas, pero desatendiendo otras estrategias de apoyo (mapa de procesos). Estas últimas no han pasado de sugerencias y recomendaciones que encabezan los informes técnicos. Sería más conveniente que actividades se las tramite antes de iniciar con actividades técnicas y así el proceso se desarrolle en armonía hasta el final.

Generar información en el campo geotérmico de calidad a nivel nacional.

Objetivo estratégico1:

Expedir un Marco Regulatorio y Definir la Institucionalidad

- Decretar un Marco Regulatorio provisional
- Reformas en la Ley de Régimen de Sector Eléctrico
- Establecer una Autoridad Geotérmica Nacional
- Instituir una Empres Geotérmica Pública o Mixta de apoyo a las investigaciones
- Elaborar y declarar una Ley Geotérmica Ad- Hoc.

La investigación básica debería realizarse con el servicio geológico y apoyo de universidades y escuelas politécnicas que tengan carreras en ingeniería geológica y así

conformar una unidad ejecutora como responsable del control de las actividades de contratar grupo local o del exterior con experiencia y así complementar la base de datos existente.

Objetivo estratégico 2:

- Formar consorcios o empresas de economía mixta
- Financiar las inversiones de Riesgo
- Establecer un Plan de Financiamiento e Inversiones de la Empresa Pública o Mixta.
- Decidir contratación de crédito o líneas de crédito

Se requieren de estudios geotérmicos a detalle para evaluar su potencial y elaborar una Ley Geotérmica. Se requiere de capital de riesgo por lo que es esencial el compromiso del gobierno en la implementación de soluciones energéticas.

Objetivo estratégico 3:

Descubrir el primer Campo Geotérmico del Ecuador se debe tener en cuenta los siguientes pasos.

- Se requiere seleccionar y contratar una Firma Consultora Internacional.
- Revisar, analizar y reinterpretar los datos.
- Elegir un área prioritaria para el estudio.
- Para descubrir el recurso se debe desarrollar un programa de perforaciones

profundas.

3.3 Eficiencia entre centrales geotérmicas de distintos tipos utilizando el factor de planta para la optimización del diseño.

Supuestos Técnicos de Planta Bocapozo.

En los proyectos geotérmicos de Nevado del Ruiz y Cachimbiro como se menciona no se dispone de datos exactos para poder estimar parámetros de diseño de una planta, por esta razón se asume parámetros que se detallan a continuación.

- Temperatura: De acuerdo con el modelo conceptual del campo, la temperatura oscila entre los 200°C a 250 °C, se asumirá una temperatura de 220°C en todos los diseños.
- Flujo de Masa: El flujo de masa se asumirá en 108 kg/s de mezcla, tomando como referencia el flujo típico de los pozos geotérmicos de El Salvador (Castillo, 2017).
- GNC: Se asume un % GNC de 0.9% para no tener problemas con el contenido de GNC, de acuerdo con la geoquímica.
- Presión de Cabezal: se asume valores promedios de 8.0 bar, al igual que el flujo de masa, tomando como ejemplo los campos de El Salvador.
- Elevación: Se asume que la elevación del proyecto es de 3450 msnm, De a la ubicación de los campos geotérmicos.
- Temperatura de Bulbo Húmedo: Se estima en 70% de acuerdo con características de la zona en 14°C en promedio anual-Humedad Relativa.

Planta a Contrapresión (Back Pressure).

En la Figura 9 se observa el resultado del modelado de la planta a contrapresión, con los parámetros esperados en los campos geotérmicos en estudios, muestra los siguientes resultados:

Potencia bruta de 3.317 kW, potencia neta de 3.243 kW, dispone de una eficiencia de flujo de vapor de 3.25 kg/s/MW.

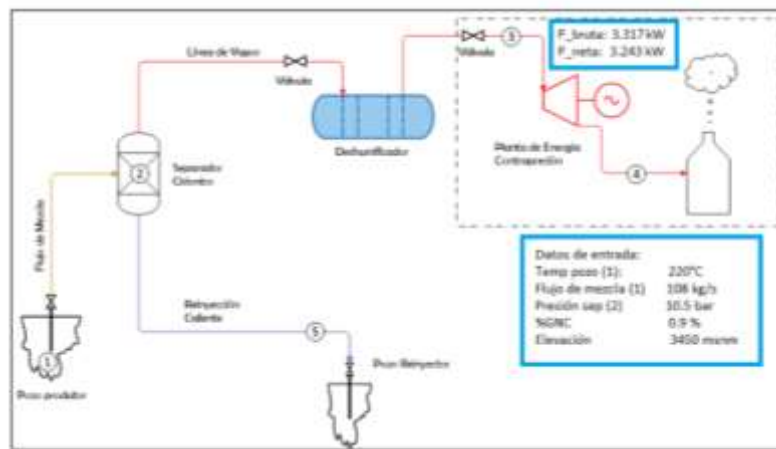


Figura 9 Esquema de una planta contrapresión

Fuente: Resultados de investigación realizada por el autor 2022

Planta Simple Flasheo a Condensación.

A continuación, se muestra en la Figura 10, El modelado de una planta a condensación, con los parámetros deseados en el campo de estudio geotérmico, arroja los siguientes resultados: Potencia bruta 5.231 kW, potencia neta de 5.014 kW, además tiene una eficiencia de flujo de vapor de 2.00 kg/s/MW.

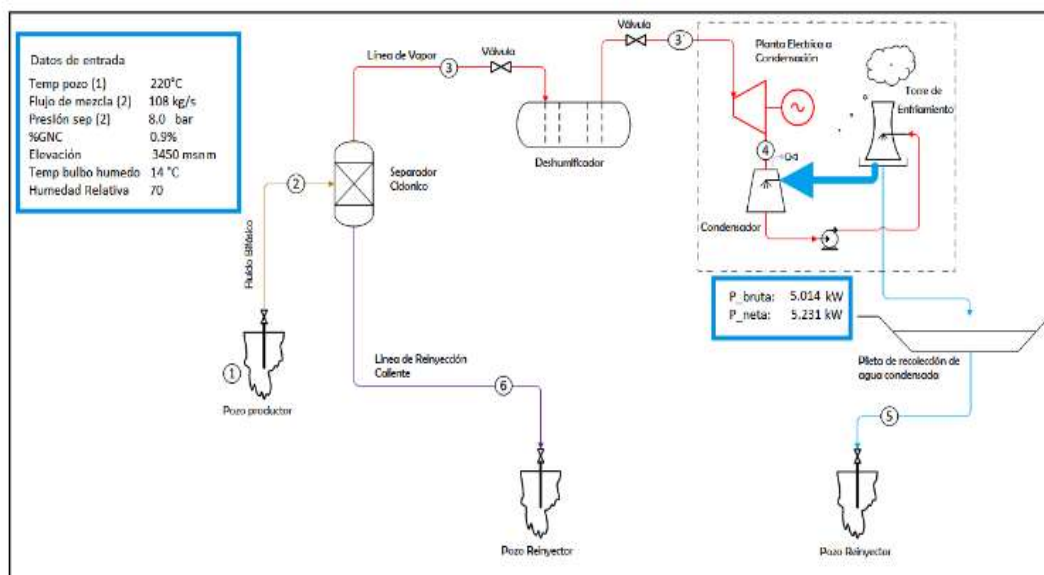


Figura 10 Esquema de una planta contrapresión

Fuente: Resultados de investigación realizada por el autor 2022

A continuación, las características para proceder a realizar la comparación de la tecnología del sistema boca pozo a condensación con otras existentes.

- ✓ Evaluar la factibilidad financiera del proyecto para determinar su viabilidad.
- ✓ Costos estimados para la instalación de la planta geotérmica.
- ✓ Análisis de sensibilidad de los diferentes escenarios que puedan representar un riesgo en la factibilidad del proyecto.

3.4 Parámetros para la evaluación financiera

Los parámetros a tomar en cuenta en la evaluación financiera del proyecto geotérmico se detalla a continuación:

- ✓ CAPEX (Capital Expenditure): Es el costo total en la inversión del proyecto.
- ✓ W_d Cantidad de la deuda: Es el Monto del crédito que se solicita a la entidad financiera.
- ✓ K_d Costo de la deuda: Es el interés que la entidad financiera cobrará por la cantidad de la deuda en porcentaje.
- ✓ Vencimiento de la deuda: Plazo del pago de la deuda.
- ✓ W_e Patrimonio: CAPEX asumido por el inversionista en porcentaje.
- ✓ K_e : (TIR) Retorno esperado del inversionista de su patrimonio.
- ✓ T_c Tasa impositivo: Impuesto de ley a pagar por la renta bruta del proyecto.
- ✓ WACC: (Inglés Weighted Average Cost of Capital). Tasa compuesta a pagar por la financiación de toda la inversión. A continuación, se detalla la expresión:

$$WACC = W_d + K_d + W_e * K_d * (1 - T_c)$$

3.4.1 Flujo de Caja

El Flujo de Caja Libre (FCL):

Se calcula la inversión y utilidad de un proyecto a lo largo de la vida de este sin tomar en cuenta las restricciones de capital de los inversionistas. Este FCL se logra a partir de la expresión detallada a continuación:

Flujo de Caja Libre = Beneficio Neto + Amortización - Inversión en Activos Fijos - Inversión en NOF.

Secuencia de operaciones:

1. Margen operativo bruto = Ventas realizadas - Costes de Ventas - Gastos generales.
2. Beneficio antes de intereses e impuestos (BAIT) = Margen operativo bruto - Amortizaciones.
3. Beneficio neto = BAIT - Impuestos
4. Necesidades Operativas de Fondos (NOF) = Caja + Clientes + Existencias - Proveedores

Flujo de Caja Libre = Beneficio Neto + Amortización - Inversión en Activos Fijos - Inversión en NOF.

3.4.2 Rentabilidad

1. Tasa Interna de Retorno:

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa compuesta de retorno para la cual el VAN es igual a cero y puede ser expresada con la siguiente ecuación (Estévez, 2012):

$$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (1)$$

2. Valor Actual Neto:

El valor actual neto (VAN) es el flujo futuro de caja menor, el valor presente del valor del costo de inversión y puede ser expresado con la siguiente ecuación:

C: Flujo de caja en el periodo n

n: Número de periodos

I: Es el valor de la inversión inicial

$$an = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+TIR)^n} - I = 0 \quad (2)$$

Sirve para generar en primera instancia la toma de decisiones financieras en una empresa o de un proyecto a partir de las inversiones ejecutables y en segunda instancia poder apreciar que tipo de inversión es idónea.

VAN > 0: El valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.

VAN = 0: El proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.

VAN < 0: El proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

$$FCL = EBIT * (1 - Tc) + Depreciación - OPEX$$

FCL: Flujo de Caja libre:

EBIT: Son los ingresos obtenidos antes de que se deduzcan los intereses y los impuestos.

OPEX: Gastos de Operaciones: son aquellos gastos que tienen que ver con el funcionamiento y la operación de la empresa.

Previamente a la realización de una inversión es necesario realizar la estimación de

los costos del proyecto, para de esta manera conocer el contexto del mercado donde se lleva a cabo y proceder a la evaluación financiera que involucra el costo del proyecto (inversión y financiamiento), la capacidad de producción y costos de operación y mantenimiento, el flujo de caja del proyecto, patrimonio, la rentabilidad y la realización de un análisis de sensibilidad del proyecto ante sus principales factores (Estévez, 2012).

3.4.3 Costos del Proyecto

Como se puede observar en la Figura 11, donde se detalla en medidas de porcentajes el costo de las componentes del proyecto de instalación de una planta bocapozo a condensación. En este caso se asume un valor aproximado del proyecto (no incluyen costos de las etapas previas de exploración y perforación) de 2.5 M USD/MW, para un costo total equivalente de 12.5 M USD para una planta de generación de 5 MW (Kachumo, 2016).

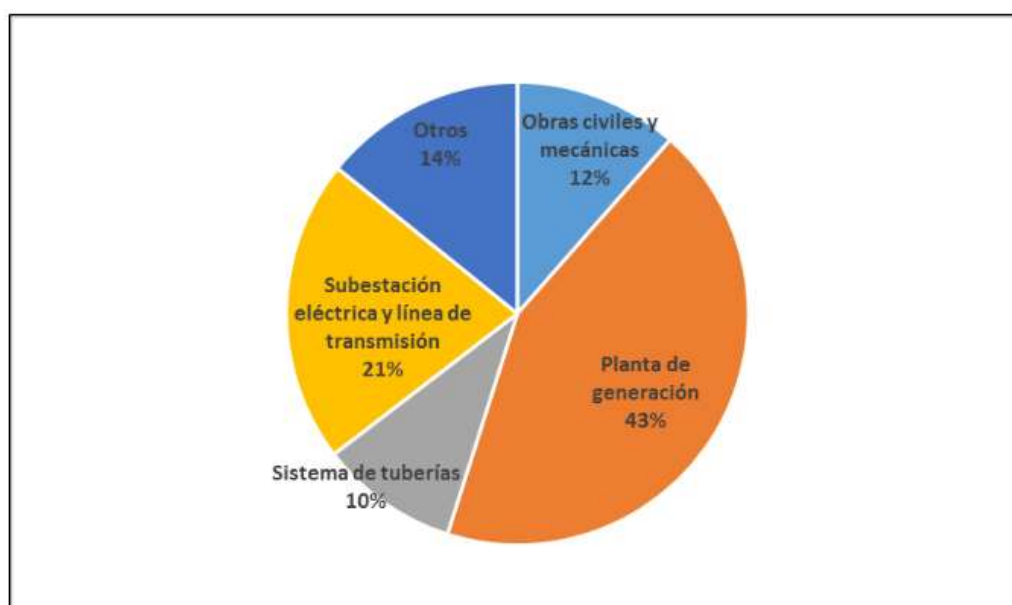


Figura 11.- Componentes del costo del proyecto

Fuente: Análisis desarrollado por el autor de la investigación

A continuación, se procede a detallar lo que incluye cada uno de los principales rubros mencionados.

- Obras mecánicas y civiles: hace referencia a casa de máquinas, equipamiento (grúa, sistemas de seguridad y contra incendio), para el caso de obras civiles para subestación eléctrica, pileta de evaporación, Montaje civil y mecánico de tubería de vapor y tubería de reinyección, montaje mecánico de tubería de vapor, montaje mecánico de tubería de reinyección, Otros (cerramiento, instalaciones, personal, etc.).

- Planta de generación: es la Turbina, el generador, el condensador, las bombas de recirculación principal, el sistema de lubricación (aceite), sistemas auxiliares del generador, sistemas de regulación y control y torre de enfriamiento.

- Sistema de tuberías: tubería de vapor, tubería de agua (reinyección), Separador, sistema de Bombeo (reinyección)

- Subestación eléctrica y línea de transmisión: Equipos de protección, Transformador de potencia, sistema de control y la línea de transmisión cuyo valor de referencia para ambos países se estima de 160 kUSD/Km. Este valor contempla la compra de terrenos para la franja de seguridad y para realizar el estudio de impacto ambiental.

Otros: se refiere a Ingeniería, supervisión, comisionamiento, fiscalización, contingencia general, contrataciones y otros costos. En relación con el financiamiento, la inversión de la instalación de la planta bocapozo será asumida por un préstamo del 85% de su costo total a una tasa de interés del 6%: Se asumirá como patrimonio el restante del costo de la planta que es del 15%, que le corresponderá al dueño del proyecto.

Se presentan los parámetros para el análisis de financiamiento de este proyecto asumido y calculado con base en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros para financiamiento del proyecto
Fuente: Proyecto de Investigación realizado por el autor

Parámetros	Valor
Costo Planta Bocapozo (MUSD)	12.5
Factor Ajuste Altura	1.2
CAPEX (MUSD)	15.0
CAPEX/MW (MUSD)	3.0
We	15%
Ke	3.0%
Wd- Costo Deuda (MUSD)	12.8
Kd - Interés Deuda	6.0%
Plazo Deuda (años)	20
Tc	0.0%
WACC	5.6%
Inversión anual	50.0%
Años desembolso inversión	2.0
OPEX	0.0

Para el proyecto se calcula el flujo de caja libre y el flujo de caja de los inversionistas. Durante los primeros 5 años el flujo de caja libre en Colombia es elevado por motivo del incentivo de la depreciación acelerada en los primeros 5 años, logrando una utilidad neta negativa que exime al proyecto del pago de impuesto, una vez puesta en marcha la generación de la planta, tal como se observa en la figura 12.

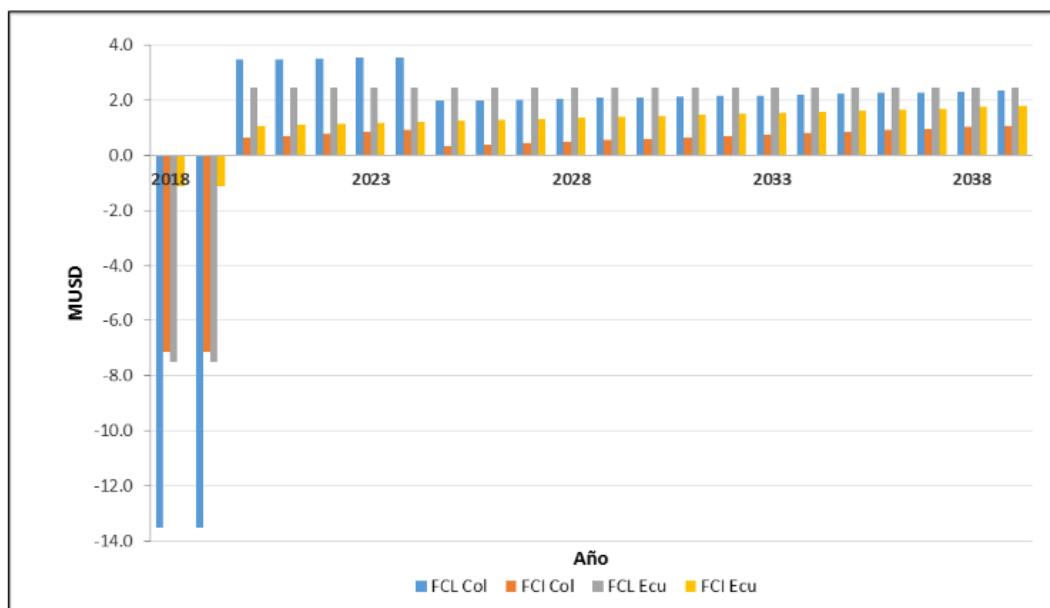


Figura 12.- Componentes del costo del proyecto

Fuente: Proyecto de Investigación realizado por el autor

Rentabilidad

En un proyecto se puede evaluar la rentabilidad con la estimación de la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN). A continuación, estima estos parámetros para los casos de estudio planteados de Colombia y Ecuador.

Valor Actual Neto

El VAN del proyecto durante los dos primeros años de instalación de la planta bocapozo y los 20 años de duración de la generación de los proyectos, donde se observa que para el de Ecuador se logra un retorno alrededor de 8 años de puesta en marcha de la planta, mientras que en Colombia se tarda 12 años para lograrlo, sin embargo, el VAN del inversionista siempre se mantiene negativo, tal como se muestran en la Figura 13.

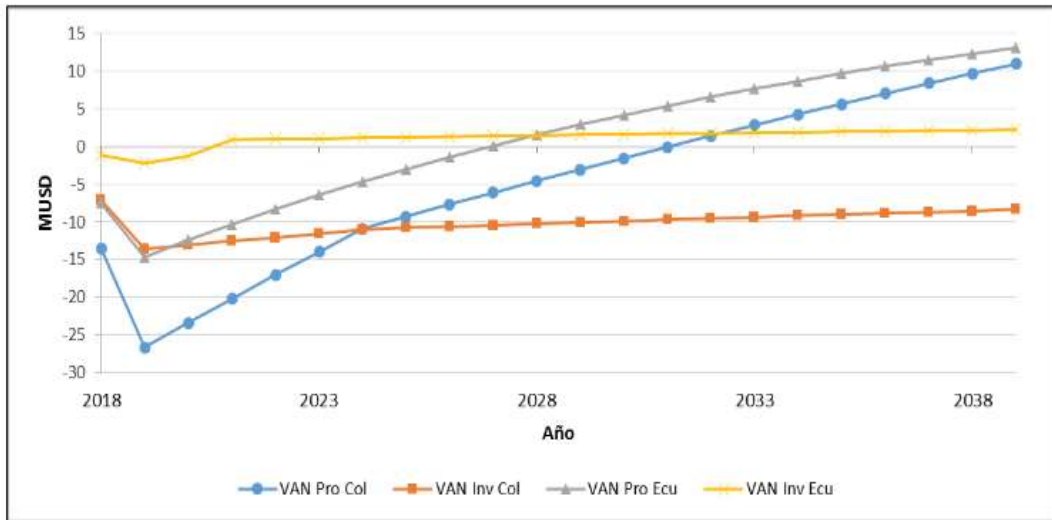


Figura 13.- Gráfica de Valor Actual Neto de proyectos de Colombia y Ecuador
Fuente Investigación desarrollada por autor, 2022.

Tasa Interna de Retorno

Para el proyecto en ambos países la tasa interna de retorno (TIR) consigue superar el WACC respectivo, es decir que los dos proyectos son viables. No obstante, para el caso de Colombia la TIR del inversionista se mantiene en cero debajo del K_e respectivo, de modo a que esta viabilidad está condicionada a que el inversionista no esté interesado en recuperar su inversión tal como se observa en la Figura 14.

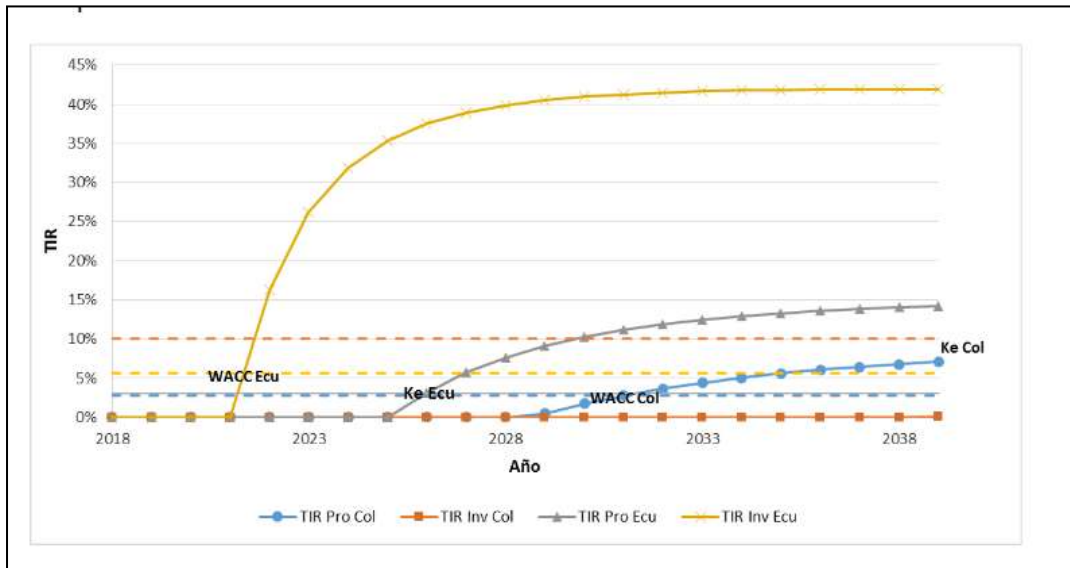


Figura 14. Tasa Interna de Retorno del proyecto y del inversionista
Fuente Investigación desarrollada por autor, 2022.

Potencia Mínima Instalada

Para las condiciones asumidas en los proyectos de Colombia y Ecuador, en el caso de Colombia se necesita aumentar la potencia mínima a instalar a 13 MW para que haya el retorno demandado por el inversionista a los 20 años de duración del proyecto, mientras que para el caso Ecuador puede aún disminuir la potencia a instalar a 1 MW y lograr recuperar la inversión a los 10 años de duración del proyecto. Además, el VAN del proyecto para Ecuador (color rojo), aún para una generación de 1 MW, se consigue un retorno a los 15 años, tal como se observa en la Figura 15.

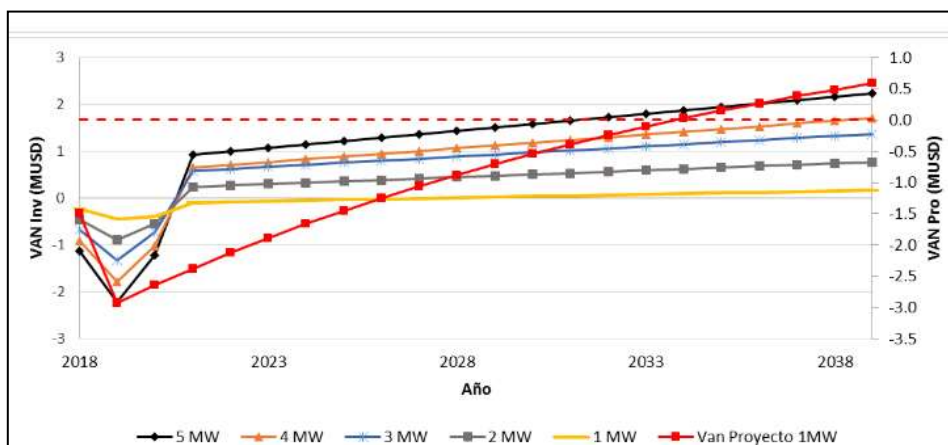


Figura 15. Potencia mínima instalada en proyectos de Colombia y Ecuador
Fuente Investigación desarrollada por autor, 2022.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES

Para el desarrollo de un campo geotérmico con la utilización de una planta bocapozo, para la generación de energía eléctrica y el monitoreo de la evolución de la explotación inicial, este puede alcanzarse en un menor tiempo con respecto al desarrollo convencional basado en la generación de altas potencias, de aproximadamente 25 MW a 30 MW.

A pesar de resultar más económico el desarrollo convencional, se necesita de algunos factores como del vapor de varios pozos productores, contar con una gran infraestructura, permisos ambientales a gran escala que retrasan su generación comercial. Gracias al avance en el diseño de plantas geotérmicas, actualmente existe en el mercado plantas bocapozo a condensación que proporcionan una eficiencia mejor que las plantas bocapozo a contrapresión tradicionales, estas últimas pueden llegar a consumir alrededor de un 75% más de vapor.

Además, se debe tener en cuenta que habitualmente el costo de una planta bocapozo a contrapresión es 20% menor que el de una planta bocapozo a condensación, aunque esta no logra ser una ventaja financiera debido a que al reducirse la generación en aproximadamente un 35%, se afecta el retorno del inversionista para el proyecto del Nevado del Ruiz y Chachimiro, y el retorno del proyecto se podría aplazar en 6 años más.

El proyecto de Chachimiro no se afecta en su viabilidad, aunque el factor de planta disminuyera hasta un 68%, tiene ventajas financieras, a pesar de que hay un límite de porcentaje de participación del Estado en el costo capital del proyecto. Se recomienda, con base en los supuestos realizados en este ejercicio, que el nivel de participación de la deuda no supere el 60% del CAPEX. Las ventajas de las plantas bocapozo a condensación es que

estas unidades son portátiles y pueden quedar en operación permanente, ser trasladadas a otros pozos o campos en exploración, incluso ser vendidas luego de que se establezca la estrategia de desarrollo a gran escala del campo geotérmico, y de esta manera alcanzar la máxima utilidad.

Para el estudio económico se consideró plantas bocapozo a condensación, con una inversión total estimada de 15'000.000 USD. Los indicadores que se obtienen a 20 años de vida útil del proyecto son: El VAN para en caso de Ecuador se logra un retorno alrededor de 8 años de puesta en marcha de la planta, mientras que para el caso de Colombia el VAN tarda 12 años para lograr el retorno y el TIR para ambos casos consigue superar la Tasa compuesta a pagar por la financiación de toda la inversión (WACC) respectivo, es decir los dos proyectos son viables.

RECOMENDACIONES

- Utilizar la investigación académica como una descripción del proceso para la implementación de proyectos viables geotérmicos.
- Se recomienda una mayor participación del gobierno y entidades que apoyen con recursos económicos para promover las investigaciones geotérmicas, debido a los costos elevados para lograr generarla, y así mayores serán las oportunidades de obtener resultados positivos en la implementación de estos tipos de sistemas.
- Se debe efectuar un estudio de suelos para conocer el estado del terreno en donde se va a realizar la construcción pozos geotérmicos, tomando las precauciones necesarias.
- Se puede efectuar un análisis más profundo de la producción de energía a través de la utilización de herramientas tecnológicas para simular dinámicamente el comportamiento en los sitios seleccionados.
- Promocionar a nivel nacional este tipo de investigación para su utilización, considerando la eficiencia y el factor de planta para la generación de electricidad de manera sostenible y continua, esto también debido a que se cuenta con mucha actividad volcánica, al ser un país con gran potencial geotérmico y termal. Ecuador es uno de los países con mayor actividad volcánica en Sudamérica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Beate, B., & Salgado, R. (2010). Geothermal Country Update for Ecuador, 2005 - 2010. Proceedings World Geothermal Congress, 25–29. www.ecuadorencifras.com
- Bruni, S. (2014). Geotermia: Una fuente sostenible de energía | Publicaciones. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Geotermia-Una-fuente-sostenible-de-energía.pdf>
- Bulnes, J. J. A. (2018). Dimensionamiento y selección de una central geotérmica basada en el ciclo rankine orgánico ubicada en el Yacimiento Geotérmico Jesús María - Moquegua. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2838752>
- Cañizares, E. C. A., & Sanchez, J. D. R. (2018). Estudio de prospectiva de la geotermia y su influencia en la matriz eléctrica en Ecuador. <https://1library.co/document/y6e8vr5z-estudio-prospectiva-geotermia-influencia-matriz-electrica-ecuador.html>
- Coronado, T., Garcia, Y. C., Martínez, D., & Melva, A. (2015). Metodología para la elaboración de un modelo conceptual a partir de datos geológicos, geofísicos y geoquímicos en la fase de reconocimiento y prefactibilidad de un proyecto geotérmico.
- Dan Jennejohn, B., Gawell, K., Holm, A., Blodgett, L., Kent, K., & McCaull, J. (2010). Green Jobs Through Geothermal Energy 2 Green Jobs Through Geothermal Energy. 202, 454–5265. www.geo-energy.org
- Dickson, M. H., & Fanelli, M. (2022). ¿Qué es la Energía Geotérmica?
- DiPippo, R. (2012). Environmental Impact of Geothermal Power Plants. *Geothermal Power Plants*, 483–506. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098206-9.00023-3>
- ESMAP. (2012). Manual de Geotermia: Como Planificar y Financiar la Generación de Electricidad | ESMAP. <https://esmap.org/node/3616>
- Gehring, M., & Loksha, V. (2014). Manual de Geotermia: Como Planificar y Financiar la Generación de Electricidad | ESMAP. 18 Febrero. <https://esmap.org/node/3616>

- Guía de la energía geotérmica (2008) - FENERCOM. (n.d.). Retrieved March 11, 2023, from <https://www.fenercom.com/publicacion/guia-de-la-energia-geotermica-2008/>
- Hance, C. N. (2005). Factores que afectan el costo del desarrollo de la energía geotérmica. <https://dokumen.tips/documents/factors-affecting-cost-of-geothermal-power-development-august-2005.html?page=1>
- Hiriart, G., & Bert, L. (2011). Tecnologías de punta y costos asociados para generación distribuida, autoabastecimiento y cogeneración con recursos geotérmicos en México. <https://www.cre.gob.mx/documento/2961.pdf>
- Huttrer, G. W. (2020). Geothermal Power Generation in the World 2015-2020 Update Report.
- IGA. (2013). Mejores prácticas de exploración geotérmica: guía para la recopilación, análisis y presentación de datos de recursos para proyectos geotérmicos. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/418111468350105471/geothermal-exploration-best-practices-guide-to-resource-data-collection-analysis-and-presentation-for-geothermal-projects>
- IGA. (2014). Best Practices Guide For Geothermal Exploration.
- IRENA. (2015). Un mundo de energías renovables. <https://www.irena.org/publications/2015/Feb/A-World-of-Renewables>
- ISAGEN. (2012). ISAGEN Energía Productiva - ISAGEN. <https://www.isagen.com.co/es/home>
- Lorente, R. C. (2021). Impacto ambiental de la energía geotérmica en aplicaciones residenciales mediante análisis de ciclo de vida. 1. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=286856&info=resumen&idioma=ENG>
- Muffler, P., & Cataldi, R. (1977). Methods for regional assessment of geothermal resources. <https://doi.org/10.2172/6496850>
- Naula, W. J., & Carrasco, W. F. (2012). Caracterización y elaboración de un inventario de fuentes geotérmicas de baja entalpia en la Provincia de Chimborazo y propuesta de creación de un centro de investigación de energía geotérmica en la ESPOCH.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2005>

Nolazco, N. (2016). Requerimientos de capacidades técnicas y contenido de responsabilidad ambiental en mercados laborales verdes para energía geotermoeléctrica. <http://colef.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1014/416>

Pérez, B., & Izquierdo, A. (2011). Vista de Energía geotérmica en Ecuador, condiciones actuales y necesidad de una legislación específica | Iuris Dictio. <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/iurisdictio/article/view/2527/3056>

Quijano, L. J. L. (2007). Manual de Geotermia. Ciencias de la Tierra e Ingeniería de Reservorios. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Lib-117.pdf>

Quispe, E. w. (2022). Universidad técnica Ambato facultad de ingeniería civil y mecánica carrera de ingeniería mecánica proyecto técnico previo a la obtención del título de ingeniero mecánico.

SENER. (2015). Prospectiva de talento del sector energía: volumen5: recursohumano.escenarios2,5 y 10 años para el subsector de sustentabilidad energética.

Shah, M., Sircar, A., Vaidya, D., Sahajpal, S., Chaudhary, A., & Dhale, S. (2015). Overview of Geothermal Surface Exploration Methods. International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education.

Taylor, M. A. (2007). The State of Geothermal Technology Part I: Subsurface Technology Geothermal exploration prospect in the Great Basin, drill rig operating at The Geysers (photos by M. Taylor). www.geo-energy.org

van der Meer, F., Hecker, C., van Ruitenbeek, F., van der Werff, H., de Wijkerslooth, C., Wechsler, C., van der Meer, F., Hecker, C., van Ruitenbeek, F., van der Werff, H., de Wijkerslooth, C., & Wechsler, C. (2014). Geologic remote sensing for geothermal exploration: A review. IJAEO, 33(1), 255–269. <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2014.05.007>



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Abel Rodolfo Carrasco Andrade**, con C.C: # 0923368443, autor del trabajo de titulación: **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICO A PARTIR DE LA EFICIENCIA ENTRE CENTRALES GEOTÉRMICAS BINARIAS DE VAPOR SECO Y VAPOR FLASH. PERSPECTIVAS EN EL ECUADOR**, previo a la obtención del título de **Magister en Electricidad con mención energías renovables y eficiencia energética** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 15 de junio de 2023

f. _____

Nombre: **Abel Rodolfo Carrasco Andrade**
C.C: # 0923368443



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICO A PARTIR DE LA EFICIENCIA ENTRE CENTRALES GEOTÉRMICAS BINARIAS DE VAPOR SECO Y VAPOR FLASH. PERSPECTIVAS EN EL ECUADOR		
AUTOR(ES)	Abel Rodolfo Carrasco Andrade		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Bayardo Bohórquez, M.SC; Ing. Gustavo Mazzini, Mgs; Ing. Diana Bohórquez, Mgs		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
CARRERA:	Maestría en Electricidad		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Electricidad con mención Energías Renovables y Eficiencia Energética		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	15 de junio de 2023	No. DE PÁGINAS:	76
ÁREAS TEMÁTICAS:	Eficiencia energética, Energía Geotérmica		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Geotérmica, Factibilidad, Costo Beneficio		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>El propósito principal del presente trabajo de investigación es proponer la utilización de centrales geotérmicas a partir de un estudio de factibilidad técnico económica considerando la eficiencia y el factor de planta para la generación de electricidad de manera sostenible y continua. Para lograr este objetivo se debe determinar el potencial térmico del Ecuador a partir mapa geotérmico y parámetros técnicos, de la misma manera investigar la eficiencia entre centrales geotérmicas de distintos tipos utilizando el factor de planta para la optimización del diseño por medio de un caso de estudio de la central térmica bocapozo. Las variables de investigación involucradas son la dependiente eficiencia debido al factor de planta de las centrales geotérmicas y la independiente el estudio de factibilidad técnico económica. La metodología de la investigación es descriptiva, cualitativa, cuantitativa, no experimental, analítica sintética y no experimental. Se concluye con base en los avances en el diseño de plantas geotérmicas existe en el mercado plantas bocapozo a condensación en la actualidad, estas plantas se caracterizan por que presentan una eficiencia superior que las plantas bocapzo convencionales a contrapresión, y estas últimas pueden llegar a consumir alrededor de un 75% más de vapor y a pesar de que habitualmente el costo de una planta bocapozo a contrapresión es 20% menor que el de una planta bocapozo a condensación, no logra ser una ventaja financiera por motivo que al disminuir la generación en aproximadamente un 35%.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-939939120	E-mail: Abel.carrasco@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, MSc.		
	Teléfono: +593-995147293		
	E-mail: celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			