



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS
OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

**PROPUESTA DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA A PARTIR DE LA ENERGÍA GEOTERMICA EN EL POZO
BOR 22 DEL CAMPO BORBURATA**

Autora: Angelimar Aranguren

Tutor Académico: Ing. José Chacón

Barinas, agosto 2022.



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS
OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

**PROPUESTA DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA A PARTIR DE LA ENERGÍA GEOTERMICA EN EL POZO
BOR 22 DEL CAMPO BORBURATA**

Trabajo Especial de Grado presentado como requisito parcial para optar por el título
de: Ingeniero de petróleo.

Autora: Angelimar Aranguren

C.I. 26.301.391

Tutor Académico: Ing. José Chacón

Barinas, agosto 2022.



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS
OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Tutor (a) del Trabajo de Especial de Grado presentado por la ciudadana: Angelimar Aranguren C.I. 26.301.391 para optar al título de Ingeniero de Petróleo, considero que este reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Barinas a los _____ días del mes de _____ del 2022

TUTOR:

C.I:



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS
OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

**PROPUESTA DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA A PARTIR DE LA ENERGÍA GEOTERMICA EN EL POZO
BOR 22 DEL CAMPO BORBURATA**

Autora: Angelimar Aranguren

C.I. 26.301.391

Trabajo Especial de Grado aprobado en nombre de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” por el siguiente jurado, a los _____ días del mes de _____ 2022.

JURADO C.I.

JURADO C.I.

TUTOR C.I.

RECONOCIMIENTO

Al padre omnipotente por ser el autor de mis días, porque sé que bajo su protección todo será posible.

A mis amados padres quienes no han fallado en la crianza que me dieron y me han apoyado siempre para alcanzar las metas deseadas.

A toda mi familia por sus bendiciones y estar siempre prestos a brindarme su apoyo.

Al ingeniero José Chacón: por estar siempre presto en las orientaciones, por no cansarse y tener la paciencia necesaria para encaminarme hacia la meta final de mi trabajo de grado.

A los profesores de la UNELLEZ por todos estos años de formación, gracias por tanto y siempre los tendré presentes en mi andar y en mi corazón.

A la UNELLEZ, por abrir las puertas a todo aquel que desee superarse en la vida.

Angelimar Aranguren

ÍNDICE GENERAL

	pp
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE ILUSTRACIONES	ix
LISTA DE GRAFICOS.....	x
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	4
Planteamiento del problema.....	4
Objetivos de la investigación	8
Justificación.....	8
Alcances y limitaciones.....	10
CAPITULO II MARCO CONTEXTUAL	12
Antecedentes del estudio	12
Revisión Bibliografica.....	15
Normativa de aspectos legales.....	24
Operacionalizacion de variables.....	28
Términos Técnicos.....	29
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO	
Diseño de la Investigación.....	31
Área de la Investigación.....	32
Población Universo.....	33
Muestra.....	33
Instrumento de Recolección de Datos.....	34
Análisis en Interpretación de los Resultados.....	35

CAPÍTULO IV RESULTADOS

Describir el esquema de la planta Geotérmica de ciclo binario para la producción de energía eléctrica en el pozo Bor 22 del campo Borburata).....	35
Fabricantes de plantas de ciclo binario.....	35
Requisitos Técnicos para la Planta Geotérmica de Ciclo Binario	38
Presupuesto para la ejecución de la planta geotérmica de ciclo binario	46
para producir energía eléctrica aplicable al pozo Bor 22 del campo Borburata	
CONCLUSIONES.....	55
RECOMENDACIONES.....	57
REFERENCIAS.....	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de Variables.....	28
Tabla 2	Empresas fabricantes de plantas binarias para bajas temperaturas y caudales.....	36
Tabla 3	Especificaciones técnicas de algunos fabricantes de plantas binarias para su utilización en campos petroleros.....	37
Tabla 4	Eficiencias para diferentes tecnologías y fabricantes de plantas binarias.....	38
Tabla 5	Datos técnicos del pozo BOR 22.....	38
Tabla 6	Componentes de una planta de ciclo binario.....	40
Tabla 7	Consideraciones de salud, seguridad e impacto ambiental.....	43
Tabla 8	Costos.....	47
Tabla 9	Costos de Exploración.....	48
Tabla 10	Costos de planificación del proyecto.....	49
Tabla 11	Costos de Construcción de la Planta.....	49
Tabla 12	Inversión inicial del Proyecto.....	49
Tabla 13	Ingresos Anuales.....	50
Tabla 14	Parámetros de entrada.....	52
Tabla 15	Detalles de Inversión.....	52
Tabla 16	Tasa Interna de Retorno	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representación gráfica de países con mayor potencia instalada y energía producida en el mundo en Energía Geotérmica.....	5
Figura 2	Esquema simplificado de una central geotérmica de ciclo binario...	18
Figura 3	Reservorio Geotérmico.....	20
Figura 4	Balancin Petrolero en el Lago.....	20
Figura 5	Faja Petrolifera del Orinoco.....	22
Figura 6	ubicación de la Cuenca Barinas Apure.....	32
Figura 7	Esquema precalentador y evaporador.....	41

LISTA DE GRAFICOS

Grafico 1	Países con mayor capacidad Instalada MWe en 2020.....	5
Grafico 2	Curva de vapor saturado en un diagrama Temperatura.....	44
Grafico 3	Progresión por año de costo y recuperación de inversión	54



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
“EZEQUIEL ZAMORA”**

**VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

**PROPUESTA DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA A PARTIR DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL POZO BOR 22 DEL
CAMPO BORBURATA**

Autora: Angelimar Aranguren

C.I. 26.301.391

Tutor Académico: Ing. José Chacón

C.I.:

RESUMEN

El Ingeniero de Petróleo es un profesional necesario para preparar, organizar y controlar los trabajos relativos a la industria petrolera y el manejo de sus recursos. De la misma forma efectúa estudios geológicos y examina muestras de tierras para determinar propiedades estructurales estratigráficas de una región, así como promover alternativas que den solución a algunas debilidades presentes como lo es el caso del mejoramiento de la producción de energía eléctrica, la cual puede incrementarse dando uso a la energía geotérmica, cuyo recurso es inagotable en Venezuela, siendo además una fuente limpia de energía y por sobre todas las cosas que protege el ambiente, después de la creación de la central es mucho más económica y eficiente. Es por ello que este estudio tuvo como objetivo: Determinar la factibilidad técnica y económica para la producción de energía eléctrica a partir de energía geotérmica aplicable al pozo Bor 22 del campo Borburata. La metodología fue a través de un estudio documental, la muestra fue el Pozo Bor 22 antes mencionado. Dentro del estudio técnico se muestra la descripción del esquema de la planta Geotérmica de ciclo binario para la producción de energía eléctrica en el BOR 22, de la misma forma las especificaciones técnicas y el presupuesto para la ejecución, en la misma se concluyó que la utilización del pozo en abandono en el campo Borburata (BOR 22) para la generación de energía eléctrica, resulta ser factible técnicamente, ya que, mediante el trabajo en conjunto de los equipos y componentes del sistema, se logra poner en funcionamiento la turbina ya que se encuentra en la región de vapor sobrecalentado y permite el aprovechamiento de la entalpia a través de un regenerador antes que el vapor sea condensado, lo que permitiría la generación de energía eléctrica. Si bien no se logra satisfacer el total de la demanda, se alcanza un gran porcentaje de cobertura, logrando reducir el consumo de combustible fósiles, la dependencia de este recurso agotable y las emisiones que implica.

PALABRAS CLAVES: energía geotérmica, energía eléctrica, Pozo, BOR 22, Campo Borburata.

E-mail del autor:

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la electricidad se genera en centrales que utilizan combustibles fósiles (petróleo, gas natural o carbón), energía nuclear o energía hidráulica. Es de destacar que con el pasar de los años la energía eléctrica se ha obtenido de centrales nucleares. En 1993, el 62 % de la electricidad generada en todo el mundo procedió de combustibles fósiles, el 19 % de la energía hidráulica y el 18 % de la energía nuclear. Otras energías renovables, como la eólica, la solar, la geotérmica o la biomasa, representan sólo una pequeña parte de la producción eléctrica. Desde las centrales que la generan, la electricidad se transmite a través de redes interconectadas a los sistemas locales de distribución y, de ahí, a los consumidores. La geotermia es una fuente alterna de energía utilizada extensivamente dentro el sector energético mundial.

Cabe destacar que el calor terrestre es una fuente de energía duradera para la producción de calor y de electricidad, que no depende de las condiciones. La diversidad de temperaturas de los recursos geotérmicos permite un gran número de posibilidades de utilización. La energía geotérmica supone una respuesta local y una opción ecológica y eficaz para reducir costes energéticos.

En Venezuela, existe un potencial inmenso para utilizar esta energía, ya que, hay dentro del territorio gran cantidad de pozos perforados activos e inactivos que pueden operar para ambas funciones, y así evitar además que se produzcan gases o se desaproveche el agua proveniente de ellos, la cual, muchas veces lo que produce es una contaminación irreparable en el ambiente. Por esto, se propone la realización de una factibilidad económica y técnica para la producción de energía eléctrica a partir de la energía geotérmica en el pozo Bor 22.

En este sentido, la propuesta de investigación y la factibilidad se llevará a cabo en el pozo Bor 22 que se encuentra ubicado en la cuenca Barinas- Apure, la cual está ubicada en la parte sur-occidental del país, al norte con la frontera con Colombia. Sus límites noroccidental y suroriental están naturalmente definidos por los Andes de Mérida y el Escudo Guayanés, respectivamente. Al sur continúa en la Cuenca Colombiana de los Llanos. Al Noroeste termina contra el Arco de El Baúl, más allá del cual comienza la Cuenca Oriental de Venezuela.

En la cuenca Barinas/Apure existen campos petroleros donde se han utilizado nuevas tecnologías con el propósito de renovar o reducir esfuerzos estratégicos que afecten significativamente el estado original de los reservorios. Con ello se ha logrado obtener

información más profunda y detallada de los yacimientos y se han realizado mejoras de los sistemas de producción para las condiciones específicas de las formaciones, en estos pozos se puede mejorar y aumentar su producción lo que promoverá en ellos el uso de la energía geotérmica, específicamente en la cuenca Barinas/Apure, para promover la generación de energía eléctrica.

La siguiente investigación se propone elaborar una propuesta de factibilidad técnica y económica para la producción de energía eléctrica a partir de energía geotérmica en el pozo Bor 22 del campo Borburata. Esto se hará a partir del conocimiento del esquema de la planta Geotérmica de ciclo binario, así como de la evaluación de los requisitos técnicos y económicos que son necesarios para la implantación de la planta Geotérmica.

Es de destacar que, las motivaciones e inquietudes que guían este estudio son en primer lugar la gradual solicitud energética de la humanidad para compensar necesidades mundiales y locales. Debido a que la población mundial crece exponencialmente y por este motivo es necesario el surgimiento de energías renovables que satisfagan el consumo energético por parte de la sociedad. La demanda de energía hace que sea necesaria la evaluación de proyectos sostenibles en un futuro para evaluar los costos y herramientas necesarias para producir o crear este tipo de energía. Otras de las razones son el bajo impacto ambiental que este tipo de energía tiene. La presente investigación está estructurada de la siguiente manera:

Capítulo I: aquí se formula el planteamiento del problema. También se esbozan los objetivos de la investigación que guían hacia el cumplimiento del propósito. En esta parte del trabajo se plantea las razones y las motivaciones que inquietaron para la ejecución del proyecto, es decir, la justificación, así como el alcance y las limitaciones de la investigación. El propósito fundamental de este capítulo es plantear el problema y a través de la evidencia lógica argumentar la solución o una opción para responder las interrogantes.

Capítulo II: este capítulo comprende el marco contextual de la investigación, los antecedentes del estudio, así como el soporte o marco teórico que constituye la terminología básica del trabajo también se esboza la normativa y los aspectos legales de los cuales se rige la investigación. En el mismo, se presenta la información más relevante que fundamenta el proyecto y se analizan pesquisas previas a este trabajo y fuentes bibliográficas de interés.

Capítulo III: está constituido por el marco metodológico en el cual se explica el tipo de investigación; el método utilizado para llevar a cabo el proyecto, los procesos a seguir e instrumentos empleados para la recolección de información. Este capítulo representa el medio utilizado para la ejecución, esquema y avance de la investigación.

Capítulo IV: se presenta el análisis de los resultados obtenidos a través de la investigación, realizada donde se darán a conocer los datos necesarios para conocer la factibilidad de la propuesta haciendo énfasis en cada uno de los objetivos previamente planteados en el capítulo I.

Capítulo V: donde se muestra lo relacionado con la propuesta objeto de este estudio.

Finalmente se muestran las conclusiones y recomendaciones emanadas del trabajo de manera general, también las referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

A nivel mundial durante siglos, la generación de energía forma parte de un conjunto de procesos diversos a través de los cuales puede producirse electricidad o transformar otras formas de energía disponibles en la naturaleza tales como: (energía química, cinética, térmica, lumínica, nuclear, entre otras), en energía eléctrica aprovechable, capaz de beneficiar a millones y millones de seres humanos, cubriendo con ello los procesos que se deben realizar para satisfacer sus necesidades. Es por ello que, se hace necesario incursionar en la generación de energía que cubra la demanda que el crecimiento poblacional exige.

En virtud de lo antes planteado y dando uso a los recursos naturales que posee cada país, se hace necesario que se implementen diversas maneras de obtener o generar energía eléctrica, la cual es definida por Gussow (1994), quien expone que “la electricidad es la corriente o flujo de electrones o un tipo de energía que se produce por la existencia de los electrones libres, los cuales se encuentran en constante movimiento al desplazarse a través de la materia” (p.22). De allí que la energía eléctrica está relacionada con la corriente de partículas llamadas electrones, y se define como el producto de la potencia eléctrica (kW) por el tiempo. Por lo que se toma en cuenta que las formas existentes de generación de energía hasta ahora tienen elevado costo, además de problemas para adaptarse a la demanda por lo que hay que utilizar fuentes alternativas entre ellas las fortalezas que se encuentran en los pozos petroleros.

En función de ello, diversos países del mundo ya han iniciado desde hace muchos años la utilización de los pozos petroleros para generar energía así lo señalan Llopis y Angulo (2008), donde mencionan que en los países como: Estados Unidos (EEUU) con el complejo geotérmico “The Geyser” con 1.808 MW, “Cerro Prieto” (México) con 820 MW, Larderello (Italia) con 769 MW, “Olkaria” (Kenia) con 540 MW y “Makban” (Filipinas) con 458 MW de potencia instalada respectivamente han sido capaces de promover la explotación de los pozos petroleros dando uso a la energía que emana de sus profundidades y que son de gran beneficio para la población. (ver figura 1).

Figura 1: Representación gráfica de países con mayor potencia instalada y energía producida en el mundo en Energía Geotérmica.



Fuente: Lund &.Toch (2020). <https://www.revistaei.cl>

Partiendo de la referencia antes citada, en estos países se encuentran las centrales geotérmicas más grandes del mundo, conocidas como complejos porque cuentan con más de una planta para su funcionamiento, logrando de esta manera ser más eficiente en el manejo del consumo de energía en sus regiones. Cabe mencionar, que los proyectos geotérmicos suelen tener altos costos de inversión iniciales debido a la necesidad de perforar pozos y construir plantas de energía, y los costos operacionales relativamente bajos.

Otra de las razones para el uso de esta energía alternativa dentro del sector petrolero es motivada al aumento de la población la cual se traduce a una demanda eléctrica mayor, motivado a esto es necesario el uso de energías alternativas para lograr satisfacer dicho requerimiento. El consumo mundial de electricidad continúa aumentando más rápido que la población mundial, lo que lleva a un aumento del consumo de electricidad per cápita, según las estadísticas internacionales de energía de la Administración de Información de Energía (2017) señala que:

Se elevará un 30%. Será como añadir otra China y otra India a la demanda global, advierte el informe anual del organismo. La economía global crece a una tasa

promedio de 3,4% anual, la población se expandirá de los 7.400 a los 9.000 millones de personas hasta 2040, y se vivirá un proceso de urbanización que supondrá agregar el equivalente a una ciudad del tamaño de Shanghái a la población urbana del mundo cada cuatro meses. (p.32)

Sin embargo, el uso de los pozos para cubrir la demanda eléctrica son los pozos petroleros abandonados, que según Duer, (2010) se denomina pozo abandonado “a aquel que está inactivo y que, ya sea por razones técnicas o económicas, no se explotará más” (p.7). En este caso, cuando los abandonos son temporarios, los taponamientos se realizan de tal manera que permita una futura reactivación del mismo, situación que impulsa a dar paso en la búsqueda de nuevas alternativas para darles uso y uno de ello es a través de la geotermia (energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la tierra) y la cual representa una gran desconocida que ha ido abriéndose paso en lo que al sector petrolero se refiere, posicionándose, como una alternativa bastante atractiva, para utilizar aquellos pozos que están inactivos en la producción de petróleo y que tienen un corte de agua casi del 100% y producir energía geotérmica, la cual hace referencia al aprovechamiento de la perforación para así obtener el calor contenido en las rocas, además, ofrece una fuente de energía renovable en escala humana, con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, con abundantes reservas y gran potencial de aplicación.

En lo que respecta a Venezuela, según Ramos y Rojas (2017), sostienen que desde los pozos petroleros se puede generar energía eléctrica por lo que acotan que este país ha sido pionero en lo que es la perforación de pozos petroleros que han cubierto demandas a gran escala mundial, teniendo en cuenta que la energía geotérmica pertenece al grupo de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC), en conjunto con la energía solar, eólica, biomasa, hidroeléctrica y mareomotriz.

Considerando estos planteamientos, en Venezuela existen pozos petroleros abandonados, que datan de muchos años y que con la situación actual del país han quedado en completo abandono pudiendo ésta ser fuente alternativa para realizar estudios a profundidad que faciliten de alguna manera la generación de energía eléctrica y así se le da uso a la energía geotérmica cuyo significado viene de las palabras griegas geo (tierra) y thermos (calor). Es decir, la energía que proviene del calor de la Tierra. Se trata de una energía limpia, renovable y que, bien aprovechada, es inagotable, además se aprovecha el calor del interior de la tierra para que pueda

ser utilizada en alimentar de manera sostenible sistemas de climatización o también para generar energía eléctrica renovable.

Por esto, se propone la realización de un plan donde se presente la factibilidad económica y técnica para la producción de energía eléctrica a partir de la energía geotérmica en el pozo Bor 22, esto impulsará así la utilización de esta energía para mejorar la condición para una producción futura, la ubicación de este pozo propuesto está en la cuenca Barinas/Apure donde existen campos petroleros dando uso a nuevas tecnologías con el propósito de mejorar o reducir esfuerzos operacionales que afecten significativamente la condición original de los reservorios. Con ello se ha logrado obtener información más profunda y detallada de los yacimientos y se han realizado mejoras de los sistemas de producción para las condiciones específicas de las formaciones, en estos pozos se puede mejorar y ampliar su producción promoviendo en ellos el uso de la energía geotérmica, específicamente en la cuenca Barinas/Apure, para promover la generación de energía eléctrica para aumentar la productividad de los pozos.

Es de destacar que el pozo Bor 22 ubicado en la cuenca Barinas- Apure. Que se encuentra en la parte sur-occidental del país, al norte con la frontera con Colombia. Sus límites noroccidental y suroriental están naturalmente definidos por los Andes de Mérida y el Escudo Guayanés, respectivamente. Al sur continúa en la Cuenca Colombiana de los Llanos. Al Noroeste termina contra el Arco de El Baúl, más allá del cual comienza la Cuenca Oriental de Venezuela. De este modo la Cuenca Barinas-Apure posee una superficie aproximada de 100.000 Km² y se extiende sobre los estados Apure, Barinas y parte de portuguesa.

En este sentido, para la elaboración de esta factibilidad económica y técnica para la producción de energía eléctrica a partir de la energía geotérmica han surgido una serie de interrogantes que permitirán guiar la consecución de este proyecto factible a saber las que se mencionan a continuación:

¿Cuál es el esquema de la planta Geotérmica de ciclo binario para la producción de energía eléctrica en el pozo Bor 22 del campo Borburata de Barinas?

¿Qué requisitos técnicos son necesarios para la implantación de la planta Geotérmica de ciclo binario para producir energía eléctrica?

¿Cuáles son los pasos a seguir para evaluar la factibilidad económica para producir energía eléctrica a partir de energía geotérmica?

Objetivos de la Investigación

Objetivo general

Determinar la factibilidad técnica y económica para la producción de energía eléctrica a partir de energía geotérmica aplicable al pozo Bor 22 del campo Borburata.

Objetivos Específicos

- 1.- Describir el esquema de la planta Geotérmica de ciclo binario para la producción de energía eléctrica en el pozo Bor 22 del campo Borburata.
- 2.-Establecer los requisitos técnicos de la planta Geotérmica de ciclo binario para producir energía eléctrica en el pozo Bor 22 del campo Borburata)
- 3.- Explicar los pasos a seguir para evaluar la factibilidad económica para producir energía eléctrica a partir de energía geotérmica.

Justificación

En los tiempos actuales, en los que existe una continua discusión sobre calentamiento global, la emisión de carbono o sobre los desechos de la energía nuclear, la energía geotérmica podría representar la esperanza para darle un giro radical a la energía global. Sin embargo, aunque existen las condiciones geológicas favorables, los altos costos de perforación generalmente limitan muchos proyectos útiles en geotermia. Por otra parte, hay cientos y hasta miles de pozos abandonados de petróleo y gas en todo el mundo que por lo menos en algunos casos podrían ser convertidos para uso geotérmico (Reyes, 2007; Davis y Michaelides, 2009; Kurevija y Vulin, 2011).

A la hora de crear proyectos de toda índole y específicamente a nivel energético, se hace necesario evaluar y disponer de los conocimientos, habilidades, equipos o las herramientas necesarias para llevar a cabo los procedimientos. Es decir, cualquiera que se propone construir o

edificar debe primero calcular los costos para ver si tiene lo suficiente para terminar su edificación o construcción. Por ello la elaboración de proyectos factibles en diferentes áreas del saber es esencial para conocer los aspectos técnicos y financieros necesarios para ejecutar de forma eficiente y ordenada cualquier planeación en diferentes áreas.

Esta propuesta se considera importante, puesto que, con el gran avance que la humanidad ha experimentado en las últimas décadas la demanda energética también ha aumentado. Por lo cual es importante evaluar propuestas de energía alternativas que aprovechen al máximo los recursos que ofrece la misma naturaleza en este caso la Tierra. Tomando en cuenta que la geotermia es una fuente alterna de energía utilizada extensivamente dentro el sector energético mundial. La principal razón de la utilización de este recurso radica en que este puede ser ampliamente aprovechado para cubrir diversas necesidades de temperatura para diferentes sectores. Las motivaciones e inquietudes que guían este estudio de factibilidad son múltiples, a continuación, se esbozaran las razones que llevan a formular esta factibilidad técnica-económica para la producción de energía eléctrica a partir de energía geotérmica en el pozo Bor 22 del campo Borburata).

La primera razón que lleva a querer formular esta propuesta, es en primer lugar es la creciente demanda energética de la humanidad para satisfacer necesidades mundiales y locales. Si la población mundial crece exponencialmente, pues es necesario el surgimiento de energías renovables que satisfagan el consumo energético por parte de la sociedad. La demanda de energía hace que sea necesaria la evaluación de proyectos sostenibles en un futuro para evaluar los costos y herramientas necesarias para producir o crear este tipo de energía.

Otras de las razones que dan relevancia al estudio que se plantea es el bajo impacto ambiental que este tipo de energía tiene, debido a que éstas se obtienen de fuentes renovables, esto también, debido a que en la actualidad los combustibles más usados para la generación de energía son aquellos que provienen de fuentes renovables, es por esto, que se busca una alternativa más agradable con el ambiente, ya que, si bien sabemos que es el petróleo el que lidera en la producción de energía a nivel mundial, con este tipo de propuestas se puede ayudar a que el mismo no contamine de una manera tan masiva, lo que mejora así su trato al ambiente, y evita desastres naturales irremediables para el mundo.

De igual modo realizar una factibilidad técnica y económica, permitirá a la empresa de Petroleros de Venezuela Compañía Anónima (PDVSA) la posibilidad de evaluar si es viable su

aplicación dentro del territorio nacional, específicamente, en la cuenca de Barinas. Dicha evaluación técnica se llevará a cabo con una investigación exhaustiva para concluir si se posee recursos humanos para consolidar la realización de dicho estudio y por otra parte en cuanto a la factibilidad económica, realizar presupuestos en distintas monedas extranjeras para deducir si económicamente resulta rentable para dicha empresa llevar a cabo esta propuesta.

Cabe destacar, que siempre es imprescindible la realización de investigaciones de nuevas estrategias para lograr así optimizar la producción y generación de energía, debido a que como se ha hecho mención en reiteradas ocasiones es Venezuela un país con muchas carencias en cuanto a electricidad, además la producción y manejo de petróleo no se encuentra en su mejor alza. Esto constituye otra de las razones y motivaciones de este proyecto, la demanda energética y la crisis que a nivel de electricidad vive nuestra nación.

En consecuencia, este estudio se justifica además en los objetivos que se proponen en el Plan de la Patria 2019-2024, donde se hace mención a que se quiere lograr una Venezuela potencia en lo energético, donde los recursos naturales sean bien usados y que por ende se logren mantener en la cúspide de las necesidades que exige el pueblo.

Alcance

Con este estudio se pretende realizar una factibilidad técnica y económica, a partir de datos y presupuestos realizados en otros estudios y países que permita comparar presupuestos adecuados a las necesidades para la producción de energía eléctrica a partir de energía geotérmica en el pozo Bor 22 del campo Borburata. Es decir, el alcance de este estudio se enfoca en especificar presupuestos adaptados a la Cuenca Barinas-Apure que está ubicada en la parte sur-occidental del país, al norte con la frontera con Colombia. Sus límites noroccidental y suroriental están naturalmente definidos por los Andes de Mérida y el Escudo Guayanés, respectivamente. Además, con esta investigación se le propondrá a PDVSA la posibilidad de evaluar si es viable su aplicación dentro del territorio nacional, específicamente, en la cuenca de Barinas.

Limitaciones

Las limitaciones en una investigación hacen referencia a los problemas con los que el investigador se encontrará durante el desarrollo de su investigación. En ese sentido, desde la

perspectiva de Ávila (2001), una limitación consiste en que se deja de estudiar un aspecto del problema debido a alguna razón. Con esto se quiere decir que toda limitación debe estar justificada por una buena razón. Asimismo, Arias, (2006) señala que las limitaciones de un proyecto investigativo “son obstáculos que eventualmente pudieran presentarse durante el desarrollo del estudio y que escapan del control del investigador” (p.12).

Una de las limitaciones que se encontró en este estudio es que se presenten inconvenientes para el acceso a la empresa PDVSA con el fin de obtener información actualizada del campo en estudio por motivos de bioseguridad.

Otras de las limitaciones es poca o escasa documentación y trabajos previos confiables que anteceden a la investigación, ya que, debido a la carencia de datos que sean fidedignos resulta un poco difícil poder desarrollar una investigación. En Venezuela, se encontraron pocos estudios de geotermia como fuente de energía alterna para que pueda ser utilizada en alimentar de manera sostenible sistemas de climatización o también para generar energía eléctrica renovable. En su mayoría los estudios se enfocan en fines turísticos o terapéuticos.

Otra limitación es la obtención de información de presupuestos y los costos de los componentes que se utilizan para la generación de la planta geotérmica binaria. Porque, estos son productos que se adquieren en el exterior, pero, los presupuestos deben adaptarse al contexto venezolano y de esta forma generar además de energía eléctrica, también empleos y diversas alternativas que se pueden lograr a través de la creación de la misma.

CAPÍTULO II

MARCO CONTEXTUAL

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El marco contextual o teórico donde están contenidos los elementos que fundamentan las variables en estudio es definido por Sabino (2003), como: “situar a nuestro problema dentro de un conjunto de conocimientos, que permita orientar la búsqueda y que ofrezca una conceptualización adecuada de los términos que se utilizarán” (p.62). Es la etapa en que se reúne información documental para confeccionar el diseño metodológico de la investigación, integrándose con las teorías, estudios y antecedentes que tengan relación con el problema de investigación, teniendo como propósito dar a la investigación un sistema coordinado y coherente de conceptos que permitan abordar el problema.

Antecedentes de la investigación

Los antecedentes constituyen todos los estudios que se han hecho en los últimos cinco años sobre el tema en desarrollo, en este sentido según Palella y Martins (2012) definen al marco teórico como “el soporte principal del estudio, dado que en él se amplía la descripción del problema, ya que permite integrar la teoría con la investigación y establecer sus interrelaciones”. (p.18). De igual manera plantean que los antecedentes de la investigación, entendida como diferentes trabajos realizados por otros estudiosos sobre el mismo problema. Por lo que se presentan los estudios con fechas de reciente data que guardan relación con la temática que se aborda.

Antecedentes

Universidad de Chile. (2022). En su investigación multidisciplinaria titulada: factibilidad de cogeneración geotérmica en Puyuhuapi. Cuyo objetivo fue: demostrar la factibilidad de cogeneración geotérmica en Puyuhuapi. La investigación multidisciplinaria realizada por el Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes (CEGA) presentada a los seremis de Energía y

Medio Ambiente, el gobernador subrogante la región de Aysén y el alcalde de Cisnes determinó que la instalación de una planta de cogeneración geotérmica es factible desde las componentes sociales, económicas, técnicas y legales evaluadas.

Estos resultados, incluyendo orientaciones para el trabajo a futuro, fueron presentados a las autoridades regionales en el conversatorio “Orientaciones para la generación eléctrica en base a geotermia en la Región de Aysén”. Esta sería la planta de este tipo más austral del mundo. Este proyecto señala que en Puyuhuapi podría instalarse una pequeña planta de cogeneración, la que podría generar entre 0,3 y 1 MW eléctrico. El calor residual de esta planta se ocuparía para otro proceso productivo, como la construcción de invernaderos, calefacción distrital o balnearios turísticos.

Cañas, Ortiz, y Villadiego, (2021), en su estudio denominado: estudio de factibilidad de un proyecto de energía geotérmica en operaciones de crudo y gas en un campo de la cuenca de los Llanos Orientales Bogotá. El objetivo del mismo fue: realizar un estudio de factibilidad para un proyecto de autogeneración eléctrica por medio de energía geotérmica obtenida del agua de producción en un campo petrolero de la cuenca de los llanos orientales, mediante una matriz de decisión en la que de acuerdo a unos parámetros de calificación se evalúe el desempeño técnico, financiero y socio-ambiental de los escenarios analizados.

En la investigación se manifestó que el crecimiento del uso de energías no renovables ha sido proporcional al crecimiento desmesurado de la población mundial con el fin de suplir la demanda energética, creando un fuerte impacto ambiental que a su vez ha aumentado la conciencia por parte de las naciones para combatir problemáticas ambientales y los respectivos efectos que éstos tienen sobre la vida en el planeta, haciendo posible la implementación de estrategias como el replanteo de las políticas ambientales en donde aparece el uso de las energías renovables con el objetivo de reducir la huella de carbono y además de mejorar la sostenibilidad y diversificación de la economía de las comunidades en donde existe el recurso.

También, estos autores plantean que los estudios en Colombia del valor potencial de estas fuentes renovables son pocos. Y algunas de las causas del retraso en el desarrollo de esta tecnología son los costos elevados, así como los riesgos asociados a las primeras fases, los límites que tienen las instalaciones en las zonas que tienen potencial para explorar el uso de esta energía y la falta de promoción por las entidades responsables. Las empresas operadoras de crudo y gas están iniciando en la incursión de la generación de energía geotérmica aprovechando el agua

asociada a la producción de hidrocarburos, la cual, se extrae a altas temperaturas, con el objetivo, adicional de reducir la huella de carbono, y de acortar los costos operativos.

Este estudio fue importante para ésta investigación que se lleva a cabo, debido a que aporta orientación sobre la actualidad en cuanto a la generación de energía eléctrica a través de la energía geotérmica, cuáles son sus costos, ventajas y desventajas, así como el impacto que esta produce en el medio ambiente el cual es positivo porque es de menor contaminación. De allí la necesidad de ampliar los conocimientos a través de otras experiencias y de esta forma engranarlos para plasmarlos en este estudio.

Acosta, (2020). Propuesta para el desarrollo de un proyecto geotérmico en cascada en el municipio de Villamaría, caldas. El objetivo fue, realizar el estudio de factibilidad para la propuesta de los proyectos geotérmicos en cascadas. Este estudio se realizó metodológicamente en forma proyectiva, los elementos básicos se localizan en un proyecto geotérmico más avanzado del país, aun cuando todavía no existe una planta de generación eléctrica. A partir de los estudios bibliográficos y antecedentes de la región se proponen proyecto de uso directo a través de la alternativa de la energía geotérmica.

Con la realización de estos proyectos que se utilizan ampliamente en todo el mundo. Usando calor geotérmico residual del proceso de generación eléctrica se pueden llevar a cabo proyectos secundarios que, en condiciones normales, emplearan fuentes de energías no renovables y contaminantes para su ejecución. Una de las principales ventajas de los proyectos en cascadas es que aumenta la eficiencia de las plantas geotérmicas. Además de que permite una participación más activa de las comunidades, mejorando la calidad de vida, al mismo tiempo de que se promueve y hace uso de las fuentes de energía renovable con menores impactos ambientales.

Pinto (2019). En su estudio titulado: Análisis Técnico y Recomendaciones para el Aprovechamiento del Recurso Geotérmico Disponible en Campos de Petróleo. Cuyo objetivo fue: Evaluar técnicamente la implementación de plantas binarias para la generación de electricidad a partir del aprovechamiento del recurso geotérmico disponible en campos de petróleo. La generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del recurso geotérmico encontrado en campos de petróleo, es posible debido a la tecnología disponible en plantas binarias o del tipo Organic Rankine Cycle (ORC) en cuanto a la transformación de calor en electricidad. El uso de temperaturas más bajas de agua y mejores eficiencias de las plantas, está

permitiendo de aprovechamiento de este recurso geotérmico que antes era inviable tanto técnica como económicamente.

El presente documento muestra diferentes fabricantes de plantas binarias (como Climeon, Turboden, Calnetix Technologies, Ormat Technologies Inc.) con eficiencias entre 6% y 14%, para aplicaciones de media a baja temperatura en campos petroleros y sus características técnicas y análisis económico. A partir de datos de temperatura de agua de 82 °C y 88 °C con diferencial de salida de 10°C, y flujo másico de 61 kg/s y 99 kg/s de dos campos petroleros localizados en el Piedemonte Colombiano, se modela y calcula la potencia generada en función de cuatro fluidos de trabajo correspondientes a R123, R245fa, R134a e Isopentano. Los resultados permitieron calcular potencias de aproximadamente 200 kW para la zona 1 y 320 kW para la zona 2. El fluido de trabajo que mejores resultados aportó fue el Isopentano al considerar los valores más bajos de presión de evaporación y flujo másico de fluido de trabajo, además de la mayor potencia generada. Finalmente, se concluye que es posible implementar la tecnología de plantas binarias para la generación de energía eléctrica a partir de las aguas calientes obtenidas en campos petroleros colombianos.

Este estudio fue necesario como antecedente de la investigación, puesto con ello se pudo visualizar las diferentes plantas que se pueden usar para su colocación y uso para su implementación en el proyecto que se desea realizar, esto indica que son diferentes las empresas que ofrecen los equipos tecnológicos de alta magnitud y que dan eficiencia a los que se desea plantear.

Revisión Bibliográfica

Clases de Regiones Geotérmicas

Se clasifican en tres categorías de acuerdo a su temperatura y a su gradiente térmico según J. G. Velasco, (2009) pueden ser:

1. Hipertérmicas o de alta entalpía: Son aquellas regiones geotérmicas en las que los gradientes de temperatura son superiores a 80-100 °C.km⁻¹ y en las que puede acceder a agua caliente o vapor, a temperaturas de 150-200 °C, generadas por contacto entre un acuífero y rocas próximas

a la superficie. Estas zonas suelen encontrarse próximas a áreas de actividad volcánica, o a los bordes de placas.

2. *Semitérmicas o de entalpía media*: Son aquellas regiones geotérmicas en las que el gradiente de temperatura varía entre 40 y 80 °C.km-1 y donde pueden encontrarse fuentes de calor a temperaturas de hasta 100 °C, no aptas para la generación de electricidad, pero que permiten la utilización de los recursos térmicos para suministrar calefacción, agua caliente a zonas próximas, y calor para procesos agrícolas o para procesos de secado y precalentamiento en ciertos procesos industriales. Estas zonas se encuentran alejadas de los bordes de placa y el calor se extrae accediendo a acuíferos naturales calientes.

3. *Normal o de baja entalpía*: Son aquellas zonas geotérmicas en las que los gradientes de temperatura son inferiores a 40°C.km-1 y en las que el flujo de calor en la superficie es del orden del valor promedio, 0,06 W.m-2 y de las que difícilmente se puede extraer energía a precios competitivos.

Modelos Termodinámicos para Centrales Geotérmicas

Para evaluar el potencial de energía eléctrica que se obtiene a partir de la energía geotérmica, se han desarrollado tres modelos termodinámicos en las centrales geotérmicas convencionales; los cuales son: Ciclo de vapor rápido simple (C.V.R.S), ciclo de vapor rápido doble (C.V.R.D)) los cuales son utilizados con temperaturas desde 160 a 340 ° C y ciclo de Rankine orgánico (ORC) o también conocido como ciclo binario cuyas temperaturas de trabajo son desde 85 a 180 ° C. [10] Estos tres modelos, como se muestra en el cuadro 1, son los ciclos más comunes instalados en la región de centro américa.

Ciclo Binario

Las centrales eléctricas de ciclo binario están desarrolladas para recursos geotérmicos bajos y medianos. Generalmente hay dos tipos de ciclos binarios los cuales son: El ciclo ORC (ciclo de Rankine orgánico) y Kalina; aunque este proyecto solo se tratara el ORC. Según Caixia, (2008), el sistema ORC se diseña para operar con temperaturas de entrada en el rango de 85 a 180 °C, de acuerdo a una selección del fluido apropiado para el trabajo, este fluido es principalmente isobutano, o isopentano o la mezcla de ellos; en general, el isobutano da más potencia en

comparación con el isopentano. El límite de temperatura superior está restringido por la estabilidad térmica de los fluidos binarios orgánicos (fluido de trabajo); el límite inferior de temperatura está principalmente restringido por consideraciones prácticas y económicas, en las cuales interviene el intercambiador de calor. El ORC cuenta con los siguientes componentes:

Intercambiador de calor o evaporador: Aquí se realiza la transferencia de energía térmica entre dos fluidos, de los cuales uno tiende a perder energía térmica (se enfría) y el otro gana energía térmica (se calienta).

Turbina: Es un motor rotativo que convierte la energía de una corriente de vapor de agua o gas en energía mecánica. Su elemento principal es el rotor, que cuenta con palas, colocados alrededor de su circunferencia, las cuales giran y hacen girar al rotor gracias a la fuerza tangencial que genera el fluido de trabajo.

Generador: Es una máquina que produce energía eléctrica por transformación de la energía mecánica.

Condensador o Intercambiador de Calor. Dispositivo que realiza una doble función; calentar un fluido y enfriar otro. Condensador: Dispositivo que tiene como objetivo condensar vapor o mezcla de vapores.

Torre de Enfriamiento: Es una estructura diseñada para rebajar la temperatura del agua de refrigeración utilizado en plantas de energía, refinerías de petróleo, plantas petroquímicas, plantas de procedimientos de gas natural.

Bomba: Se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud. Ramírez, Pintado y Pinedo. (2015)

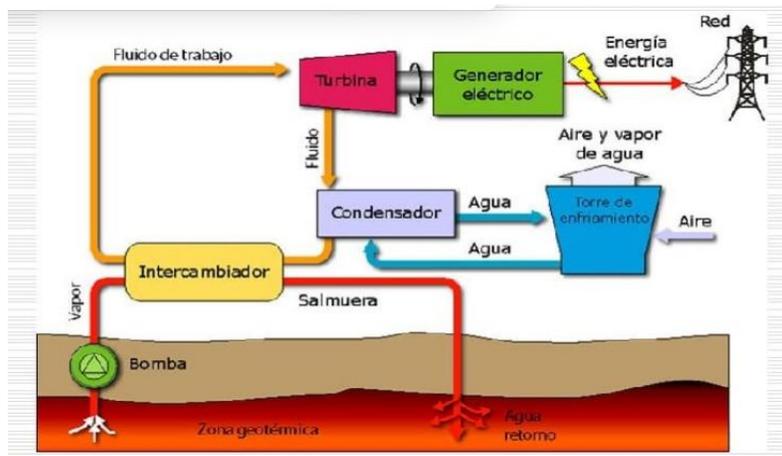
Fuente de Calor: Es un sistema donde se genera gran cantidad de poder calorífico; para el ORC se trata de un intercambiador de calor en el cual los fluidos están separados por una pared sólida.

Es importante recalcar que el Proceso del ORC inicia con el fluido geotérmico al salir del pozo (estado s1); sale a temperatura alta y con aumento de presión, luego se enfría en el evaporador, para después entrar a un precalentador y al final ser reinyectado al pozo en el estado s2. El fluido es frecuentemente agua blanda. Si la presión se mantiene suficientemente alto no se

separarán gases no condensables del líquido, y de esa manera no será necesario una extracción de gas. El fluido de trabajo sale de la bomba en el estado 4, he ingresa al precalentador; donde el fluido de trabajo recibe el calor necesario para alcanzar su punto de ebullición, luego sale en el estado 5, en este estado del proceso existe un punto en el diagrama T-q en que la diferencia de temperatura entre el fluido geotérmico y el de trabajo es mínima y se conoce como punto de estrangulación o pinchpoint. Ramírez (ob.cit). El vapor sale del evaporador en el estado 1 y entra en la turbina, luego sale de la turbina en el estado 2 para entrar en el condensador, en el estado 3 sale el fluido de trabajo del condensador en estado líquido saturado e ingresa a una bomba.

Estas son las más modernas y pueden operar a temperaturas del fluido de tan solo 57 grados. El agua solo está moderadamente caliente y se hace pasar junto a otro fluido que tenga un punto de ebullición muy inferior al del agua. De esta forma hace que al ponerse en contacto con el agua, aunque sea a una temperatura de solo 57 grados, se vaporice y se pueda emplear para mover las turbinas.

Figura 2: Esquema simplificado de una central geotérmica de ciclo binario.



Fuente: Portillo G. (2019). <https://www.renovablesverdes.com>

Yacimientos para la Producción de Energía Geotérmica

Los pozos geotérmicos han sido creados para aprovechar la energía geotérmica natural, la cual es sustentable y permite cubrir las necesidades de generación de energía eléctrica y de calor en zonas de inviernos fuertes o con déficit de electricidad. Estos pozos aprovechan la presión del

vapor y temperatura debajo de la corteza terrestre para alcanzar su propósito, el cual puede ser diverso. Desde impulsar turbinas y equipos que requieren alta generación de energía, hasta bombas de calor que permiten la obtención de calefacción para diversas estructuras. Generalmente, este tipo de pozos se encuentran en regiones con alta actividad geológica, en donde se perfora la superficie terrestre a una determinada profundidad para garantizar su estabilidad.

Los Yacimientos de Aguas Calientes

Son aquellos tipos de yacimientos que se presentan de forma subterránea en los acuíferos, los cuales han sido utilizados desde la antigüedad, estos llegaron a ser populares a partir de los romanos con sus aguas termales. La temperatura en estos yacimientos es bastante alta solo que se logran encontrar en profundidades bajas o medias. Es común que este tipo de yacimientos se puedan encontrar de manera natural, ahora si se desea su aprovechamiento se deben llevar a cabo la formación de varios pozos, con el fin de obtener toda al agua y al encontrarse la misma fría esta se puede introducir de nuevo impidiendo así que el yacimiento se llegue a secar y perderse.

Los Yacimientos Secos

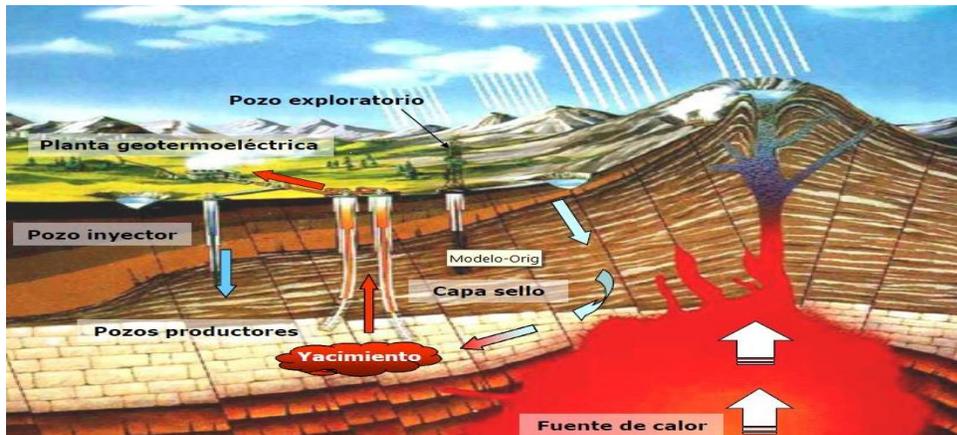
Estos tipos de yacimientos no cuenta con agua para producir calor u otro tipo de energía, más bien se trata de un producto artificial. Puede ser encontrado en una posición subterránea a una profundidad moderada, se conforma de rocas secas a muy altas temperaturas debido a que son expuestas al magma. El procedimiento se trata de la inyección de agua fría que al entrar en contacto con la roca caliente logra producir un vapor el cual se conduce a la superficie a presión y esta logra escapar por toro agujero que ha sido abierto para ello, el mismo se encuentra en contacto con la perforación anterior.

Géiseres

Al imaginar cómo se produce la energía geotérmica esta es la forma más común y conocida, sin embargo, no llegan a encontrarse de forma abundante en el planeta, solo se encuentran ubicados en algunas zonas muy específicas, unas de las principales se hallan en Islandia y Estados Unidos. Los géiseres se tratan de fuentes de aguas termales que son capaces de emitir grandes masas de vapor acompañados de aguas calientes. Esta condición se encuentra en

contacto con las aguas del subsuelo en donde las rocas se mantienen a temperaturas elevadas en el interior del planeta. Esto produce que el agua caliente se desintegre de manera instantánea y ascienda hacia la superficie a una gran velocidad, expulsando el géiser como si se tratara de un sifón de agua caliente.

Figuras 3: Reservorio Geotérmico



Fuente: <http://geoyfotonaiarayainhoa.blogspot.com/>

Principales cuencas petrolíferas de Venezuela con potencial geotérmico.

Cuenca del Lago de Maracaibo: Hasta el año 1998 fue la cuenca de mayor producción del país. En el año 2000 el 46,6% de la producción nacional se produjo en ésta cuenca. en la actualidad posee 13.000 pozos activos y su capacidad de producción es de 1.885 millones de barriles diarios. Pozos petroleros de la cuenca del Lago de Maracaibo: Lagunillas, Tía Juana, Barraquero, La Paz, Lama, Cabimas, Mene Grande, Las Manuelas, Boscan, Concepción.

Figura 4: Balancin Petrolero en el Lago.



Fuente: <https://www.venologia.com>

Cuenca de Falcón: Está relacionada geológicamente con la cuenca del Lago de Maracaibo. En el año 2000 produjo el 0,03% de la producción nacional que equivale a 375 millones de barriles de petróleo. Pozos petroleros de la cuenca de Falcón

Mene media, Hombra pintado, Mene Mauroa, Tiguaje.

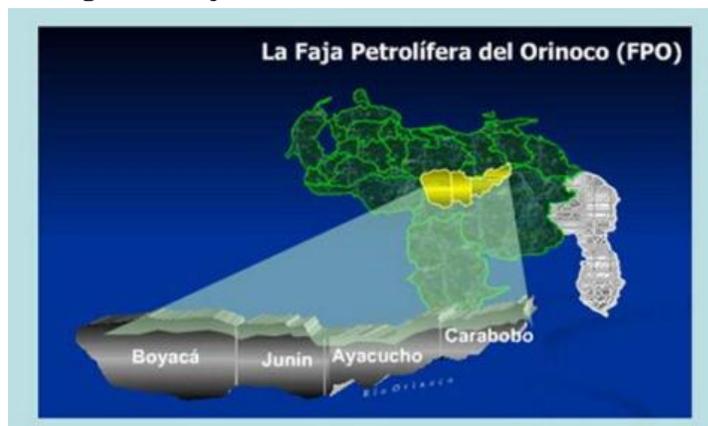
Cuenca Barinas-Apure: Abarca una extensión de 87.000 km², está integrada por los estados Apure, portuguesa y Barinas. Posee 350 pozos activos y su capacidad de producción es de 166 millones de barriles diarios. Los pozos que están siendo explotados actualmente son: Hato Viejo, Maporal, Silvan, Páez, Sinco, Silvestre

Cuenca Oriental y Faja del Orinoco: Posee una extensión de 153000 km², en ella se encuentra en la Faja petrolífera del Orinoco, donde se produce el petróleo pesado con alto contenido de azufre. Incluye las áreas petroleras de los estados Monagas, Sucre, Anzoátegui, Guárico y Delta Amacuro. Lo que la convierte en la más extensa e importante de Venezuela. En la actualidad cuenta con 3.300 pozos activos. En esta cuenca se producen los crudos pesados y extra pesados que son enviados a mercados secundarios para ser procesados. Se subdivide en tres subcuencas: la subcuenca de Guárico, la subcuenca de Maturín y la subcuenca de Paria.

Los pozos que están siendo explotados actualmente son:

- Anzoátegui: Oficina, Guara, Santa rosa, Nipa, Merey, Dacion, Leona, Yoaples
- Monagas: Lobo, Acema, Pílon, Quiriquire, Oritupano, Morichal.
- Guárico: Budare, Las mercedes, Gabán, Ruiz, Barzo.
- Delta Amacuro: Tucupita, Perdenales
- Faja Petrolífera del Orinoco

Figura 5: Faja Petrolifera del Orinoco



Fuente: <https://lagazzettadf.com>

Cuenca de Margarita: Se ubica a 95 km al Noreste del Campo Patao y 40 Km al Sureste del Archipiélago los Testigos.

Cuenca Tuy-Cariaco: Sus 14.000 km² se extienden desde Barlovento, estado Miranda, hasta el Golfo de Cariaco en Sucre, casi en su totalidad está cubierta por el Mar Caribe. Incluye la península de Araya y las Islas de Margarita, Coche y Cubagua. Actualmente se estudia el valor comercial del petróleo que potencialmente podría haber en esta cuenca.

Cuenca Barinas-Apure

La Cuenca Barinas-Apure está ubicada en la parte sur-occidental del país, al norte con la frontera con Colombia. Sus límites noroccidental y suroriental están naturalmente definidos por los Andes de Mérida y el Escudo Guayanés, respectivamente. Al sur continúa en la Cuenca Colombiana de los Llanos. Al Noroeste termina contra el Arco de El Baúl, más allá del cual comienza la Cuenca Oriental de Venezuela. De este modo la Cuenca Barinas-Apure posee una superficie aproximada de 100.000 Km² y se extiende sobre los estados Apure, Barinas y parte de Portuguesa.

Dentro de esta cuenca se han descubierto 12 campos petroleros, de los cuales diez están concentrados en una superficie relativamente pequeña de 1.200 Km², ubicada a unos 30 Km al sureste de Barinas y denominada Área Mayor de San Silvestre. Los restantes dos campos, Guafita y La Victoria constituyen descubrimientos recientes en la zona de Apure, en el borde sur de la cuenca, cerca de la frontera colombo-venezolana. Aparte de estas regiones, se perforaron diez pozos exploratorios en la zona de Guanarito, los cuales mostraron indicios de petróleo pesado.

Un levantamiento de 690 Km de líneas sísmicas realizado en 1984, en el extremo norte de la cuenca, ha permitido definir una provincia potencialmente petrolífera, denominada Depresión Estructural de Guarumen. La roca madre por excelencia de la Cuenca Barinas-Apure es la

Formación Navay, de edad Cretácico Tardío, cuyas facies son equivalentes laterales a las de la Formación La Luna.

Las principales rocas de yacimiento clásticas son las Formaciones Escandalosa, Burguita (Cretácico), (Grupo) Orocué (Paleoceno), Mirador-Guafita (Miembro Arauca) (Eoceno-Oligoceno). El yacimiento carbonático más relevante lo constituyen las calizas de porosidad secundaria del Miembro Guayacán (Caliza "O") de la Formación Escandalosa.

Los sellos regionales más importantes son los intervalos lutíticos de la Formación Burguita (Cretácico Tardío), Pagüey (Eoceno) y Guafita (Miembro Guardulio). La mayoría de los campos petroleros se encuentran al sur de la ciudad de Barinas, como San Silvestre y Sinco.

La Victoria y Guafita están ubicados cerca de la frontera con Colombia. La gravedad de los crudos ha sido registrada entre 22 y 28° API en los campos del estado Barinas, mientras que en los campos de Guafita y La Victoria, estado Apure, se han encontrado crudos de 30 y 36° API.

Características Litológicas del Campo Borburata

Para Jiménez (2008), PDVSA Intevop (2010), PDVSA Servicios, Dpto. Tecnología de Fluidos (2009) y Schlumberger (2017 p.8). Estratigráficamente el Campo Borburata está conformado por una serie de formaciones que definen la litología de esta área. En el presente trabajo de investigación el enfoque principal son la formación Gobernador y Escandalosa debido a:

-La formación Gobernador posee un 80% de areniscas cuarzosas, localmente conglomeráticas, en capas de espesor medio a grueso, con estratificación cruzada; y un 20% de intercalaciones de limolitas y laminaciones lutíticascarbonáceas.

-La formación Escandalosa es la formación productora de hidrocarburos por excelencia del campo. Se caracteriza por la presencia de calizas bioclásticas y arenosas, a veces glauconíticas, areniscas y calcáreas glauconíticas en su miembro "O"; areniscas masivas muy permeables en su miembro "P"; areniscas masivas ocasionalmente calcáreas, intercalaciones menores de lutitas y limolitas en su miembro "R"; y lutitas negras duras en su miembro "S".

Formación Escandalosa

Según Smith González De Juana (1980), Kupez y Hernández (1998). “La Formación Escandalosa, de edad Cenomaniense-Turoniense, tiene un espesor que varía entre 180 y 1180 pies a través del subsuelo de la Subcuenca de Barinas” (p.32). Es de reseñar que en el área de Barinas la formación Escandalosa fue dividida en cuatro miembros, basándose en la litología y las características de los registros eléctricos. Estos miembros, de base a tope, son:

- Miembro “S”, el cual corresponde a una lutita que es una capa guía regional
- Miembro “R”, compuesto de areniscas glauconíticas y calizas arenosas
- Miembro “P”, importante yacimiento de hidrocarburos, compuesto de areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas carbonosas y, por último

Miembro “O”, también importante reservorio de hidrocarburos, compuesto de una mezcla de calizas, dolomitas y areniscas. Según Smith (1980). La formación 35

Escandalosa se caracteriza por la presencia de vugas y fracturas las cuales hacen propensa la formación a las pérdidas de circulación. Tales fracturas son producto de la cercanía del Campo Borburata con la trampa BOR-14X1, siendo el miembro “O” el que presenta mayor densidad de fractura y vugular, por lo que es en esta zona donde se han observado las mayores pérdidas de circulación. (p.12).

En función de lo antes descrito, el campo Borburata presenta varios miembros que son relevantes por lo que es necesario de sus conocimientos en función de tenerlos en cuenta para la estructura de la propuesta que se desea lograr.

Normativa de aspectos legales

El contexto jurídico e institucional parte desde la constitución, la ley, los decretos, las ordenanzas y los acuerdos, hasta los reglamentos y las resoluciones, y se expresa en forma prohibitiva o permisiva. La Constitución vigente de la República Bolivariana de Venezuela establece la propiedad pública de los yacimientos mineros y de hidrocarburos por primera vez en una de sus disposiciones. Efectivamente, en el artículo 12 de la Constitución se puede leer:

Artículo 12: “Los yacimientos mineros y de hidrocarburos, cualquiera que sea su naturaleza, existentes en el territorio nacional, bajo el lecho de mar territorial, en la zona exclusiva y en la

plataforma continental, pertenecen a la República, son bienes del dominio público y, por tanto, inalienables e imprescriptibles.”

Artículo 113: “Cuando se trate de explotación de recursos naturales propiedad de la Nación o de la prestación de servicios de naturaleza pública con exclusividad o sin ella, el Estado podrá otorgar concesiones por tiempo determinado, asegurando siempre la existencia de contraprestaciones o contrapartidas adecuadas al interés público”.

Este artículo guarda relación con la presente investigación, debido a que una gran fracción del comportamiento de la producción de un pozo petrolero depende de trabajos realizados por empresas operadoras, los cuales ejercen sus labores a través de permisos suministrados por el Estado Venezolano.

Plan de la Patria (2019-2025)

I. Defender, expandir y consolidar el bien máspreciado que hemos reconquistado después de 200 años: la Independencia Nacional.

Objetivo Nacional

Convertir a Venezuela en un país potencia en lo social, lo económico y lo político dentro de la gran potencia naciente de América Latina y El Caribe, que garanticen la conformación de una zona de paz en nuestra América.

Objetivos Estratégicos y Generales

1.2.8. Asegurar los medios para el control efectivo de las actividades conexas y estratégicas, asociadas a la cadena industrial de explotación de los recursos mineros.

3.4.1. Generar una capacidad de producción de hidrocarburos, en consonancia con las reservas probadas y potenciales del recurso, de acuerdo con su utilización como impulsor del desarrollo de cadenas productivas, su papel en el ingreso nacional y ajustado a las condiciones del mercado de financiamiento.

La ley Orgánica de Hidrocarburos de Venezuela, (1969)

Artículo 19: Las personas que realicen las actividades a las cuales se refiere esta Ley, deberán hacerlo en forma continua y eficiente, conforme a las normas aplicables y a las mejores

prácticas científicas y técnicas disponibles sobre seguridad e higiene, protección ambiental y aprovechamiento y uso racional de los hidrocarburos, la conservación de la energía de los mismos y el máximo recobro final de los yacimientos.

Artículo 20: Las personas que realicen las actividades a las cuales se refiere esta Ley, están en la obligación de suministrar al Ejecutivo Nacional toda la información que éste requiera, relacionada con el ejercicio de dichas actividades. A tal fin aquéllas que realicen actividades primarias conjuntamente con actividades industriales y comerciales, deberán llevar y presentar por separado las cuentas relativas a tales actividades. El Ejecutivo Nacional guardará la confidencialidad de la información suministrada, cuando el interesado así lo solicite y sea procedente.

El reglamento sobre la conservación de los recursos de hidrocarburos. Artículos 15 y 17.

Art. 15. “El operador deberá realizar labores de recuperación suplementaria en un yacimiento cuando se justifique técnica y económicamente. El ministerio podrá ordenar al operador suspender la producción de un yacimiento si la recuperación suplementaria no se efectúa diligentemente”.

Ley de uso Racional y Eficiente de la Energía (2011).

Artículo 1 : esta Ley tiene por objeto promover y orientar el uso racional y eficiente de la energía en los procesos de producción, generación, transformación, transporte, distribución, comercialización, así como el uso final de la energía, a fin de preservar los recursos naturales, minimizar el impacto ambiental y social, contribuir con la equidad y bienestar social, así como, con la eficiencia económica del país, mediante el establecimiento de políticas enfocadas en el uso racional y eficiente de la energía, la educación energética, la certificación de eficiencia energética y la promoción e incentivos para el uso racional y eficiente de la energía.

Artículo 3: por su importancia estratégica en todos los niveles de la sociedad, a fin de preservar los recursos naturales y el bienestar de las generaciones futuras, se declara de interés social, público y de prioridad nacional el uso racional y eficiente de la energía.

Artículo 6:

1.- Eficiencia Energética: Es la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía (Gaceta Oficial N° 39.823 del 19 de diciembre de 2011)

2.- Energías Alternativas: son aquellas que permiten la generación de energía eléctrica en sustitución de las 39 fuentes de energía convencional, que en la República son los hidrocarburos líquidos y gaseosos, así como la hidroelectricidad.

3.- Energía Renovable: Aquella que se obtiene del aprovechamiento de fuentes de energía primaria naturales capaces de regenerarse, entre otras: energía solar, energía eólica; bioenergía, energía hidráulica, energía geotérmica, energía mareomotriz, gases de desechos, gases de plantas de depuración y biogás.

4.- Uso eficiente de la energía: Es el óptimo aprovechamiento de cada unidad de energía recibida, mediante el uso de equipos, sistemas y procesos tecnológicos adecuados para satisfacer las necesidades de los usuarios.

5.- Uso racional de la energía: Modelo de conducta que permite satisfacer las necesidades de cada usuario o usuaria, con el menor consumo posible.

6.- Certificado de Eficiencia Energética: Documento que expresa la conformidad con los parámetros establecidos en las normativas de eficiencia para un equipo, sistema, edificación y material.

Cuadro 1: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Objetivo General: Determinar la factibilidad técnica y económica para la producción de energía eléctrica a partir de energía geotérmica aplicable al pozo Bor 22 del campo Borburata.

Objetivos Específicos	Variable	Definición de la Variable	Dimensión	Indicadores
Describir el esquema de la planta Geotérmica de ciclo binario para la producción de energía eléctrica en el pozo Bor 22 del campo Borburata.	Esquema de la planta Geotérmica de ciclo binario	Un esquema es un marco mental cognitivo o conceptual. La utilidad de los esquemas radica en que nos permiten tomar atajos en la interpretación de la gran cantidad de información que está disponible en nuestro entorno.	Consideraciones generales de la planta geotérmica Fabricantes de plantas de ciclo binario	Esquema general de la planta binaria a utilizar en el BOR 22. Especificaciones técnicas de los fabricantes.
Establecer los requisitos técnicos de la planta Geotérmica de ciclo binario para producir energía eléctrica en el pozo Bor 22 del campo Borburata)	Requisitos técnicos de la planta Geotérmica de ciclo binario	Los requisitos técnicos son los aspectos técnicos que deben cumplirse para completar con éxito un proyecto. En este caso son los técnicos, fiabilidad y disponibilidad. Caso Pozo BOR 22 Borburata	Técnicos	Áreas de Terreno Temperatura Perforación Componentes de la planta. Porcentaje de salinidad del agua. Fluido de trabajo. Operadores para la instalación. Jefes de planta
Explicar los pasos a seguir para evaluar la factibilidad económica para producir energía eléctrica a partir de energía geotérmica	Plan presupuestario a partir de datos referenciales	Presupuesto donde se enfatizan los costos económicos y/o financieros para llevar a cabo el proyecto,	Costos de Inversión	Costos Costos de mantenimiento y operación. Depreciación.

Fuente: Aranguren A. (2022)

TÉRMINOS TÉCNICOS

Campo de operación: Es aquella fase del proyecto durante la cual los investigadores hacen contacto con los encuestados, administran los instrumentos de recolección de datos, los registran y los devuelven a una sede central para su procesamiento. La planeación de la operación de campo está altamente influida por el método de recolección de datos empleado.

Coproducción: Producción y aprovechamiento simultáneo de hidrocarburos y energía geotérmica.

Fluidos retrógrados: Flujo de un líquido que se desplaza por un conducto en sentido inverso al normal.

Isopentano: Isopentano o metilbutano, C_5H_{12} , también llamado 2-metilbutano, es un alcano de cadena ramificada con cinco átomos de carbono

Isobutano: El isobutano es un hidrocarburo alifático perteneciente a la serie alcano. Se obtiene por destilación fraccionada de petróleo y gas natural.

Géiser: Surtidor intermitente de agua líquida mezclada con vapor de agua, a una temperatura entre 70 y 100 °C, con gran cantidad de sales disueltas y en suspensión.

Potencia Bruta: Máxima potencia que una central eléctrica puede producir en condiciones normales de operación y medida en los terminales de los generadores. Usualmente medida en Mega-Watt (MW) o Kilo-Watt (kW). Diccionario Español de Ingeniera.

Pozo: Perforación para el proceso de búsqueda o producción de petróleo crudo gas natural o para proporcionar servicios relacionados con los mismos. Los pozos se clasifican de acuerdo a su objetivo y resultado como: pozos de aceite y gas asociado, pozos de gas seco y pozos inyectoros. Subsecretaría de hidrocarburos de México (2015).

Pozo abandonado: Es aquel pozo que por razones técnicas o económicas no se explotara más, sobre los cuales se realizan operaciones de taponamiento con el fin de proteger el suelo y el subsuelo, y así evitar impactos ambientales. Este abandono puede ser temporal o definitivo. Cortez P. (s/f)

Reservorio petrolero: Yacimiento o depósito, es una acumulación natural de hidrocarburos en rocas porosas o fracturadas en el subsuelo.

Reservorio geotérmico: Es una zona del subsuelo con calor acumulado y con condiciones adecuadas para ser económicamente aprovechado.

Reservorio geotérmico: Un reservorio geotermal, que es una zona de roca fracturada y/o permeable que se calienta con la fuente de calor y permite que el fluido geotermal circule a través de él adquiriendo el calor. Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes (CEGA). (2018)

Salmuera Caliente: La salmuera es agua con una concentración de sal (Cloruro de Sodio o NaCl) disuelto superior al 5 por ciento. Existen ríos y lagos salados en donde no hay vida por el exceso de sal y de donde se extrae la salmuera, principalmente para obtener su sal evaporando el agua en salinas. La salmuera puede ser venenosa para algunos animales que beben de esta. Diccionario de la Real Academia Española. (2021).

Volcán: Abertura en la corteza terrestre por la cual sale lava, vapor y/o cenizas con fuerza, o se derraman continuamente o a intervalos.

Yacimiento: Unidad del subsuelo constituida por roca permeable que contiene petróleo, gas y agua, las cuales conforman un solo sistema. Subsecretaría de hidrocarburos de México (2015)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En la presente sección se detallan los procedimientos utilizados para cada uno de los cálculos realizados en el trabajo, tanto para la evaluación técnica como económica, especificando las consideraciones y supuestos utilizados en cada caso. Por lo tanto, se revisará de forma detallada los criterios de algunos autores, que logren describir el marco metodológico de la investigación y a su vez dar respuesta a los objetivos planteados en este proyecto, es decir, en este momento se hace referencia a la metodología, es decir el método que se utilizó para llevar una secuencia lógica en la investigación de tal manera que en él se describen los siguientes elementos que forman parte del estudio. Tipo de investigación, nivel, naturaleza, diseño, población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez, confiabilidad y técnicas de análisis de los datos recolectados en el diagnóstico inicial.

Diseño de Investigación

Un diseño de investigación se define como el plan global de investigación que integra de un modo coherente y adecuadamente las técnicas utilizadas para recolectar información, datos, análisis previstos y objetivos. Según Balestrini, (1997) el diseño de una investigación “intenta dar de una manera clara y no ambigua respuestas a las preguntas planteadas a la misma” (p.131). En este sentido, para este estudio se utilizó la Investigación documental, es según Alfonso (2005), “un procedimiento científico, un proceso sistemático de indagación, recolección, organización, análisis e interpretación de información o datos en torno a un determinado tema. Al igual que otros tipos de investigación, éste es conducente a la construcción de conocimientos” (p.21).

El tipo de diseño que se usa en esta investigación abarca todos los cálculos la manera en que se recolectan los datos tanto para la evaluación técnica como económica, especificando las consideraciones es un diseño documental, debido a que se observan los hechos estudiados fueron extraídos de fuentes documentales.

Área de la Investigación

La investigación se desarrolla en el área de producción del pozo BOR 22, del campo Borburata, de la Subcuenca Barinas. La investigación se realizó de manera conjunta UNELLEZ y el departamento de yacimientos (PDVSA), con el fin de que los resultados obtenidos puedan ser utilizados por ambas dependencias. La localización del mismo está ubicada en la parte sur-occidental del país, al norte con la frontera con Colombia. Sus límites noroccidental y suroriental están naturalmente definidos por los Andes de Mérida y el Escudo Guayanés, respectivamente. Al sur continúa en la Cuenca Colombiana de los Llanos. Al Noroeste termina contra el Arco de El Baúl, más allá del cual comienza la Cuenca Oriental de Venezuela. De este modo la Cuenca Barinas-Apure posee una superficie aproximada de 100.000 Km² y se extiende sobre los estados Apure, Barinas y parte de Portuguesa.

Dentro de esta cuenca se han descubierto 12 campos petroleros, de los cuales diez están concentrados en una superficie relativamente pequeña de 1.200 Km², ubicada a unos 30 Km al sureste de Barinas y denominada Área Mayor de San Silvestre. Los restantes dos campos, Guafita y La Victoria constituyen descubrimientos recientes en la zona de Apure.

Figura 6: Ubicación de la cuenca Barinas Apure.



Fuente: Google Maps (2022)

Además, muy cerca del campo se encuentra una subestación de Energía Eléctrica que surte a parte del estado Barinas y también un grupo de fincas y haciendas que quedan alrededor de la misma.

Población o Universo de Estudio

Desde el punto de vista estadístico una población o universo puede estar referido a cualquier conjunto de elementos de los cuales pretendemos indagar y conocer sus características, o una de ellas y para la cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación, según Sabino (2004) lo conforman "el conjunto de elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) a las cuales se refiere la investigación" (p. 113). Según Chávez (2007), expresa que la población:

Es el universo de la investigación, sobre el cual se pretende generalizar los resultados y está constituida por características y estratos que le permiten distinguir los sujetos, unos de otros. Esas características se deben delimitar con la finalidad de establecer los parámetros muestrales. (162)

Para este estudio la población objeto de estudio es el campo petrolero de Borburata. estratigráficamente el Campo Borburata que está ubicado en la cuenca Barinas- Apure que tiene una extensión de 87.000 Km², integrada por los estados Apure, Barinas y portuguesa, cuenta con 350 pozos por una serie de formaciones que definen la litología de esta área.

La Muestra

En lo que respecta a la muestra, por su parte, es una pequeña parte o porción de la población que se selecciona; en este sentido se trata de un conjunto finito o reducido de individuos (personas, animales, objetos o cosas), para Hernández, Fernández y Baptista (2006), sostiene que la muestra es "el conjunto de operaciones que se realizan para estudiar la distribución de determinados caracteres en la totalidad de una población, universo colectivo, partiendo de la observación de una fracción de la población considerada" (p.65). De esos 350 pozos se usó el pozo Bor 22. El pozo BOR 22 se encuentra inactivo desde 2.008, con una profundidad de 10.500'; perteneciente a la sub-cuenca Barinas. Debido a ello la muestra fue intencional, la cual es definida por Arias (2006), el muestreo Intencional u opinático, "es aquel donde los elementos muestrales son escogidos en base a criterios o juicios preestablecidos por el investigador, o bien como lo describe" (p.13). En este sentido fue el pozo BOR 22 del Campo Borburata.

Instrumentos de Recolección de Información

Para la realización del estudio de factibilidad se ha llevado una amplia labor de recopilación de información, que concierne básicamente a las siguientes áreas de trabajo:

- a) Actualidad en la utilización de la energía geotérmica en el mundo. A fin de tener información actualizada sobre el aprovechamiento de energía geotérmica y su empleo en el mundo, además de conocer donde se ha puesto en marcha el proyecto de manera que se puedan aprovechar los referentes para desarrollar una revisión de literatura confiable. Tomando de este modo diversos estudios de factibilidad realizados para el aprovechamiento de la geotermia para generar energía eléctrica.
- b) Tecnologías de aprovechamiento de los recursos geotérmicos. Comprende un análisis tanto de las tecnologías empleadas actualmente para la generación de energía eléctrica y para usos directos de calor, como de aquéllas que, si bien se encuentran aún en fase experimental, se prevé que a corto o medio plazo resulten competitivas a nivel técnico y comercial. La documentación empleada proviene principalmente de fuentes que son referencia en el ámbito geotérmico a nivel internacional, especialmente en lo referente a tecnologías en desarrollo.
- c) Metodologías de evaluación de recursos y reservas geotérmicos. La información recopilada comprende las metodologías de uso más extendido, propuestas por autores de contrastado prestigio en cada una de ellas, si bien el interés se ha centrado principalmente en el método volumétrico o heat in place aplicado en el marco del presente Proyecto.
- d) Documentos de referencia elaborados por la empresa petrolera venezolana PDVSA, a través del aporte de fuentes de información que puede encontrarse en este ámbito a nivel nacional.

Por su parte, para el diseño y ejecución de un presupuesto fue apoyado por información de primera mano de la empresa de PDVSA Barinas, de los cuales se extrajo alguna información para lograr mantener datos actualizados que permitieron canalizar los costos para el estudio de factibilidad.

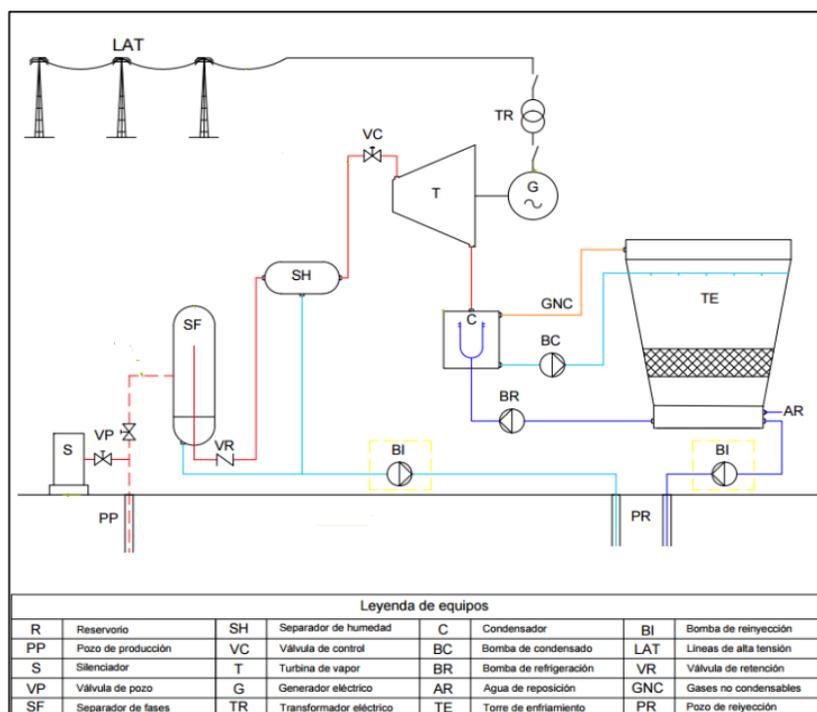
CAPITULO IV

Análisis en Interpretación de los Resultados

En este análisis se hace referencia a la información encontrada para dar respuesta a los objetivos planteados, en la misma se plasma el esquema de la planta Geotérmica de ciclo binario para la producción de energía eléctrica en el pozo Bor 22 del campo Borburata), seguidamente las especificaciones técnicas de algunos fabricantes de plantas binarias para su utilización en campos petroleros, así como requisitos Técnicos para la Planta Geotermica de Ciclo Binario y un plan presupuestario a partir de datos referenciales para la ejecución de la planta geotérmica de ciclo binario para producir energía eléctrica en el pozo Bor 22 del campo Borburata).

Describir el esquema de la planta Geotérmica de ciclo binario para la producción de energía eléctrica en el pozo Bor 22 del campo Borburata)

Figura 8: esquema de la planta Geotérmica de ciclo binario



Fuente: Lagos (2019) Estudio de Factibilidad para la Instalación de una Central Geotérmica en Chile, Universidad del Bío-Bío

Una vez descrita la planta que pudiera ser utilizada para generar energía eléctrica a través de la energía geotérmica, es necesario comprender que para un proyecto geotérmico de este tipo de tecnología (coproducción) en campos petroleros activos, no se tendrían costos de perforación comparado a un proyecto geotérmico convencional, donde los costos típicos de perforación varían entre el 30-40 % del total del costo capital del proyecto. Como tal, el costo capital para un proyecto geotérmico de coproducción puede ser significativamente más bajo por capacidad de kilovatio generado que para un proyecto geotérmico convencional (Sanyal & Butler, 2010).

Por otro lado, el potencial de capacidad de energía de un pozo petrolero o un grupo de pozos, produciendo un corte de agua sería determinado principalmente por las siguientes variables:

- a) Relación del agua producida desde el pozo o grupo de pozos
- b) Temperatura del agua producida en el punto de recolección o la salida del tanque de almacenamiento
- c) Salinidad del agua
- d) Temperatura ambiente en el sitio vs temperatura del agua
- e) Eficiencia de la planta a ser usada

Fabricantes de plantas de ciclo binario

Las empresas mostradas en la Tabla 3, corresponden a empresas fabricantes de plantas de ciclo binario adaptadas a la generación de energía eléctrica de media a baja temperatura y caudal. Tabla 3. Empresas fabricantes de plantas binarias para bajas temperaturas y caudales

Tabla 2. Empresas fabricantes de plantas binarias para bajas temperaturas y caudales

Empresa	Sitio WEB
Turboden	https://www.turboden.com/

Climeon Green	https://climeon.com/geothermal-plants/
Thermal Energy echnologies	T http://www.g-tet.com/
Access Energy (Calnetix Technologies)	http://www.access-energy.com/applications.html#geo
Ormat Technologies Inc.	https://www.ormat.com/en/home/a/main/
United Technologies	https://www.utc.com/
Barber-Nichols Inc.	https://www.barber-nichols.com/industries/energy

Fuente: Aranguren A. (2022)

Las plantas binarias diseñadas a esta escala de temperatura y caudal, son usualmente construidas en pequeñas unidades modulares del orden de unos pocos kWe a unos pocos MWe de capacidad, las cuales al ser juntadas crean una planta de energía de unos pocos MWe. Esta configuración modular hace que las plantas de energía binaria sean rentables y un medio confiable de generación de electricidad geotérmica para recursos geotérmicos de media a baja temperatura (Mwagomba, 2013).

Tabla 3. Especificaciones técnicas de algunos fabricantes de plantas binarias para su utilización en campos petroleros

Parámetro	Descripción	
	CALNETIX (The Themapower ORC 125XLT)	CLIMEON (HP 150)
Potencia	125 kW Netos	150 kW
Voltaje/Frecuencia	380-480 VAC; 50/60 Hz	400-440 VAC; 50/60 Hz
Temperatura de entrada Agua	130°C (266°F)	70-120 °C
Tasa de flujo Agua	-	10-35 l/s
Temperatura agua de enfriamiento	-	0-35 °C
Tasa de flujo agua de enfriamiento	-	10-35 l/s
Temperatura ambiente	-	5-45 °C
Humedad	-	20-85 %
Fluido de trabajo	R245fa	-
Peso del sistema	7,800 kg (17,200 lb)	-
Tamaño del sistema	20 ft ISO Container	-
Peso del módulo	2,948 kg (6,500 lb)	9,000 kg (10,200 lb)
Tamaño del módulo	113 in (287 cm) x 50 in (127 cm) x 80 in (203 cm)	3009x2085x2271 mm (DWH)
Gabinete Eléctrico - Control	-	600x600x2100 mm, 400 kg

Gabinete Eléctrico - Potencia	-	600x1600x2100 mm, 1000 kg
Entrada/Salida Evaporador	4" CL300 RF ASME B16.5 Flange	-
Entrada/Salida Condensador	6" CL300 RF ASME B16.5 Flange	-
Conexión a la red	3-Fases, 3 alambres con tierra	-
Conexión a internet	Ethernet CAT-5 Cable desde cliente de internet	-

Fuente Aranguren A. (2022)

Adicionalmente, en la Tabla 5 se observan valores de eficiencias para diferentes fabricantes y tecnologías (Gosnold, Abudureyimu, Tsiryapkina, Wang, & Ballesteros, 2019). Es posible apreciar cómo ha mejorado la tecnología en cuanto a las eficiencias y también en cuanto al aprovechamiento de recursos de baja temperatura.

Tabla 4. Eficiencias para diferentes tecnologías y fabricantes de plantas binarias

Tecnología de plantas binarias	Eficiencia
Pratt & Whitney 200 kW with 74 °C water	6%
Calnetix 125 kW with 90 °C water	7%
Calnetix 125 kW with 140 °C water	14%
Climeon 150 kW with 90 °C water	14%

Fuente Aranguren A. (2022)

Tomando en cuenta las características de temperatura y del pozo se puede optar por la planta Climeon 150 KW la cual presenta una eficiencia del 14% y una temperatura de entrada mínima de 90°C.

Requisitos Técnicos para la Planta Geotérmica de Ciclo Binario

Área del terreno

Para iniciar el proyecto es necesario un terreno plano de aproximadamente 1-2 hectáreas el cual está disponible ya que el espacio donde se sitúa el pozo petrolero es de 1 hectáreas, esto puede o debe cambiar dependiendo si la proyección es a futuro se realiza una instalación de conjuntos completos de energía Geotérmica, ya que el complejo geotérmico más grande del mundo posee unos 78km² es decir unas 7.800 hectáreas.

Tabla 5 Datos técnicos del pozo BOR 22

Corte de Agua	99,9%
Pozos:	BOR 22 INACTIVO desde 2.008
Profundidad	10.500'
Yacimiento	obsoleto.
Yacimiento	ABBOR022
Formación gobernador	
Temperatura	230°F
RGP	60
°API	9-50
Gradiente de Presión	0,431
Presión de fondo	4.530 PSI
Factor Volumétrico	1.108
Parámetros del agua	PH: 7.23
Temperatura de muestra	30°C
Color real	75 pt-con
Demanda Química	350 mg/l
Aceites minerales e hidrocarburos	197 mg/l
Sólidos totales	1500 mg/l mg/l
Sólidos totales en suspensión	60 mg/l
Superficie	95 metros.

Fuente Aranguren A. (2022)

Temperatura del pozo

La temperatura en ciertos puntos del sistema y la profundidad del pozo, relacionadas por el gradiente geotérmico, según Wight & Bennett, (2015), “son componentes críticos durante la evaluación de transferencia de calor en el circuito de aprovechamiento de la energía geotérmica” (p.75). Cabe mencionar que el pozo propuesto suministra un flujo de agua a una temperatura de 230 °F o 110 °C en tal sentido se debe contar con un módulo con temperatura de entrada menores a ésta.

Perforación

En cuanto a la perforación se cuenta con el pozo BOR 22 el cual tiene las características mostradas en la tabla 6

Componentes de la planta

Para realizar una instalación completa de la planta son necesarios equipos que se utilizan con frecuencia dentro de la industria petrolera, como lo son bombas centrífugas y bombas sumergibles utilizadas para el suministro del fluido geotérmico, tuberías para que el que fluido pueda circular a través del sistema, además son necesarias bombas y tuberías para alimentar el sistema con el fluido de trabajo, el cual va a calentarse dentro un pre-calentador y evaporador. En la etapa de la generación de electricidad será necesario una turbina y generador.

Tabla 6: Componentes de una planta de ciclo binario

SISTEMA	SUBSISTEMAS	COMPONENTES
Planta Geotérmica binaria	Suministro del fluido geotérmico	Bombas centrífugas multietapa con eje lineal accionado por motores montados en la superficie, o bombas sumergibles, tuberías y sistema de remoción de arena
	Sistema de alimentación de fluido de trabajo	Bomba y tuberías
	Calentamiento del fluido de trabajo	Pre-calentador y evaporador
	Generación Eléctrica	Turbina, generador, válvula de control y accesorios
	Condensación del fluido de trabajo	Condensador, bomba de condensado, torre de enfriamiento, bomba de agua de refrigeración, tuberías, bombas de evacuación de fluido de trabajo durante mantenimiento.

Fuente Aranguren A. (2022)

Precalentador y evaporador

Tanto el precalentador como el evaporador son intercambiadores de calor, siendo los de mayor uso industrial, del tipo de Coraza y Tubo, esto debido a sus ventajas de flexibilidad, robustez y facilidad de mantenimiento y reparación. Consisten en una

estructura de tubos pequeños colocados en el interior de un casco de mayor diámetro y sus consideraciones de diseño están normadas por The Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA). En los intercambiadores existen dos corrientes de flujo, en una de ellas se conduce el llamado fluido caliente y la otra transporta el fluido frío, la transferencia de calor se realiza por diferencias de temperaturas. Para las plantas binarias el fluido caliente es el geotérmico y el fluido frío es el denominado fluido de trabajo, los cuales habitualmente pueden ser Isopentano, Isobutano, Propano, refrigerante R-134a y n-Pentano.

Figura 7: Esquema precalentador y evaporador



Fuente: <https://www.redalyc.org>

Turbina

Las turbinas en las plantas binarias, también trabajan expandiendo el vapor para generar movimiento en ellas, con la diferencia que es un vapor generado de la evaporación de un fluido de trabajo (no vapor de agua) el cual se caracteriza por su alta volatilidad y por presentar una forma de campana en cierta manera sesgada a la derecha, propio de los llamados fluidos retrógrados, la ventaja que brinda este tipo de fluidos es que el proceso de expansión en la turbina no genera humedad a la salida de la turbina ya que se encuentra en la región de vapor sobrecalentado y permite el aprovechamiento de la entalpia a través de un regenerador antes que el vapor sea condensado.

Torre de enfriamiento seca

El sistema de enfriamiento en seco utiliza aire para condensar vapor de la turbina forzando el aire a temperatura ambiente a través de un haz de tubos con aletas que contienen el vapor en el interior. A menudo se utilizan cuando el suministro de agua no está disponible cerca de la planta. Generalmente, en las plantas geotérmicas, el sistema de enfriamiento de aire seco tiro mecánico mediante ventiladores con motores accionados por energía eléctrica. Hay dos configuraciones principales de la colocación de ventilador en este tipo de torres:

1. La de tiro inducido, tiene un ventilador mecánico en la parte superior de la torre. El ventilador empuja el aire a través de los haces de tubos y lo empuja lejos para reducir el riesgo de recirculación. Se necesita alta potencia si la temperatura ambiente es alta, debido a la velocidad de entrada baja del aire.
2. La de tiro forzado, tiene un ventilador mecánico en la parte inferior de la torre, para forzar el aire en circulación a través del haz de tubos. El aire se distribuye uniformemente en la torre debido a las bajas velocidades de aire de descarga desde el haz de tubos y tiene más recirculación de aire que la de tiro inducido. La configuración de tiro forzado está más afectada por las condiciones climáticas frías.

Estos equipos todos son suministrados por empresas dedicadas a la instalación de sistemas energéticos geotérmicos, en cuanto al personal humano encargado al momento de instalar es necesario capacitar ingenieros electricistas y petroleros para energías renovables como también específicamente en energía geotérmica, ya que en Venezuela no hay antecedentes de esta energía es por ello que suponemos no hay mucho talento especializado en el tema. Es necesario a su vez un ingeniero de perforación y de yacimientos, además del personal obrero que debe tener experiencia en el área petrolera y eléctrica. Cabe destacar que la empresa que realizará las instalaciones contará con expertos en el manejo de sus equipos, e ingenieros al mando de dicha instalación, pero lo ideal sería que, el proyecto genere fuentes de trabajo dentro del país y que sean profesionales venezolanos los que queden al frente de dicha inversión.

Porcentaje de salinidad del agua

El pozo en estudio presenta un corte de agua del 99,9% como lo muestra la tabla N° 5, lo cual cumple con el requerimiento de la mayoría de las plantas binarias de los fabricantes, es de considerarse que el PH del pozo es de 7.23 el cual es menor que el recomendado por algunos fabricantes de plantas binarias lo cual puede representar inconveniente a en el ciclo de vida de la unidad.

Fluido de trabajo

Los ciclos Rankine orgánicos utilizan un fluido orgánico en lugar de agua, y resulta muy importante tomar en consideración la selección de fluidos de trabajo, ya que el fluido orgánico utilizado tiene un impacto en el rendimiento de una planta binaria. Existen varias opciones para los fluidos de trabajo en una planta binaria, para la selección de un fluido de trabajo los criterios de selección no solo serán técnicos, si no también económicos, adicionalmente se considera seguridad, salud e impactos ambientales.

Consideraciones de salud, seguridad e impacto ambiental

En la siguiente tabla se muestran algunas propiedades en cuanto a salud y medio ambiente, de algunos fluidos de trabajo. Para la selección de fluido, toxicidad y flamabilidad son dos factores muy importantes en materia de seguridad humana; el potencial de agotamiento del ozono (ODP) y el potencial de calentamiento global (GWP) reflejan cuestiones ambientales. La ODP y GWP, estos indicadores entre más bajo sean los valores de estos dos números, resultan más seguros para el medio ambiente.

Tabla 7: **Consideraciones de salud, seguridad e impacto ambiental**

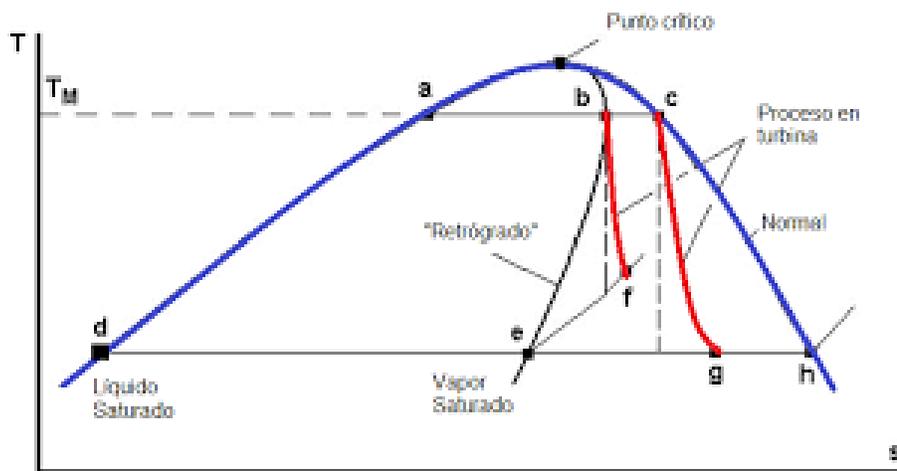
Fluido	Fórmula	Toxicidad	Flamabilidad	ODP*	GWP*
Isopentano	i – C5H12	Baja	Muy alta	0	0
Isobutano	i – C4H10	Baja	Muy alta	0	0

n-Pentano	C5H12	Baja	Muy alta	0	0
R245fa	C3H3F5	Baja	No inflamable	0	1030

Fuente: Aranguren A. (2022).

Otra característica importante para seleccionar fluidos de trabajo, es la forma de la curva de vapor saturado en un diagrama Temperatura - Entropía, ya que en el agua se tendría una pendiente negativa en todo momento, puntos *c* y *h*. Caso contrario de los líquidos retrógrados. Los líquidos retrógrados son aquellos que tiene una línea de vapor saturado con una pendiente positiva, puntos *b* y *e*, teniendo en la salida de la turbina vapor sobrecalentado, puntos *b* y *f*, caso contrario con el agua que aún se encontrara en zona de mezcla, puntos *c* y *g*.

Grafico 2: Curva de vapor saturado en un diagrama Temperatura



Fuente: <https://www.thefinitelement.com>

Después de analizar los fluidos tomando en cuenta la consideración anterior se puede considerar cuatro fluidos retrógrados: isopentano, isobutano, n-pentano y R 245fa.

Para un planteamiento inicial del problema de selección de fluido, R 245fa es la apuesta más segura en cuanto a factores de seguridad humana ya que no presentan inflamabilidad y no son tóxicos. En cuanto a los factores ambientales, los cinco fluidos presentados tienen cero ODP. El GWP mide cuánto calor atrapa a un gas de efecto

invernadero en la atmósfera; es una medida relativa ya que compara la cantidad de calor atrapado por una masa similar de dióxido de carbono. GWP es mayor entre los refrigerantes, pero todavía está dentro de la zona de seguridad para utilización industrial y están aprobados por las normas vigentes. Para la seguridad y el medio ambiente, todos los fluidos considerados son factibles para su utilización.

Operadores para instalación de planta geotérmica

El operador en la instalación de la planta debe ser un profesional que garantice el correcto establecimiento de todos los equipos correspondiente para el funcionamiento del conjunto, así como también con la planificación, supervisión y seguridad de la planta. Es importante mencionar, que para la instalación será necesario contar con empresas extranjeras que se especialicen en este tipo de energía, así como también de expertos foráneos en la materia que instalen sus equipos dentro de nuestro territorio. En cuanto a los obreros que se necesitarán para dicha instalación la idea es realizar una alianza con la empresa de petróleo de Venezuela (PDVSA) para formar una cuadrilla de al menos 25 obreros que cuenten con la experiencia en trabajos en la industria de generación de electricidad.

Operadores de planta

Los operadores dentro de la planta deber ser profesionales capacitados en áreas como: Mecánica, Eléctrico, perforación, yacimiento, e Ingenieros petroleros especializados en energías renovables. Cabe destacar que en condiciones óptimas los operadores de la planta deben ser venezolanos, ya que una de las ventajas de la instalación de dicha planta será proporcionar puestos de trabajos y vacantes para nuevos talentos dentro de nuestro territorio, y es importante resaltar que se cuenta con dichos profesionales en toda Venezuela capaces de asumir este reto. A continuación, algunos factores a tener en cuenta son:

1. Garantizar la operación efectiva, eficiente y segura de la planta.
2. Planificación, supervisión y programación de mantenimiento.
3. Mantenimiento de gestión de inventario y certificación.
4. Siempre apoyando y colaborando con Salud y Seguridad/Gestión de Riesgos.

Jefes o líderes de planta

5. Ingeniería (preferida eléctrica/mecánica).
6. Experiencia mínima de 2 años en la industria de generación de electricidad.
7. Excelentes habilidades de comunicación oral y escrita.
8. La capacidad de liderar y dirigir equipos.

Este jefe o líder de la planta también debe ser de nacionalidad venezolana, el cual se apoyará en los operadores de planta para optimizar y mantener el funcionamiento de la planta en excelentes condiciones.

Presupuesto para la ejecución de la planta geotérmica de ciclo binario para producir energía eléctrica aplicable al pozo Bor 22 del campo Borburata.

Costos

Los proyectos geotérmicos suelen tener altos costos de inversión iniciales debido a la necesidad de perforar pozos y construir plantas de energía, y los costos operacionales relativamente bajos. Los costos operativos varían dependiendo de la capacidad de la planta, los pozos de restauración o los requisitos de pozos de inyección, y la composición química de los fluidos geotérmicos. Sin costes de combustible, los costos de operación para plantas geotérmica son predecibles en comparación con las plantas de generación basadas en combustión que están sujetas a fluctuaciones en los precios de mercado del combustible.

Los costos de inversión de un proyecto geotérmico-eléctrico se componen de los siguientes costos: (a) la exploración y los recursos de confirmación, (b) la perforación de pozos de producción e inyección, (c) las instalaciones de superficie e infraestructura, y (d) la planta de energía. Los costos de los componentes y factores que influyen en ellas suelen ser independientes entre sí, y cada componente se describe en el texto que sigue, incluyendo su impacto en los costos totales de inversión.

Algunos de los costos de inversión históricos y actuales para proyectos típicos de energía geotérmica, para las plantas de ciclo binario 2.130 a 5.200 USD/kW, el costo total del proyecto, sin contar los estudios exploratorios previos, se calcula en 2.135 millones de

dólares (a precios de 2019), con el desglose en los principales conceptos que se presenta a continuación.

Inspección topográfica preliminar

En esta primera etapa se investigan los mejores lugares, para profundizar en una investigación. En ella se realiza un primer reconocimiento del área geotérmica basado en un estudio a nivel nacional.

Si no se encuentran estos estudios, usualmente los investigadores realizan sus propios estudios basándose en la literatura y datos disponibles, que incluye investigaciones geológicas de suelo y una documentación del lugar a través de imágenes satelitales y áreas. Una vez desarrollado este estudio preliminar, se realiza el permiso de la concesión de exploración geotérmica del lugar, el cual debe ser aprobado por el Ministerio del Poder Popular para la Energía.

Para tener el derecho a explorar en el área de interés, el desarrollador del proyecto, si no es propietario del lugar, debe llegar a un acuerdo de arriendo o concesión con el dueño legal, para realizar exploraciones en el terreno.

Estos trámites suelen ser burocráticos, donde además se incluye un permiso ambiental y de derechos de agua que requieren una evaluación de impacto ambiental (EIA). Actividades que involucran gran cantidad de tiempo y dinero, y pueden tardar desde varios meses, hasta 1 año en completarse.

Tabla 8: Costos

Inspección topográfica preliminar (ITP)		
Ítem	Dólares (US\$)	Euros (€)
Recolección de datos	40.291	39.633,0907
Inspección topográfica	82.896	81.542,3962
Selección de áreas	117.195	115.281,33
Otros (EIA, planificación inicial, arriendos)	408.899	402.222,113
subtotal	649.281	638.678,93
Ingeniería y supervisión (10%)	64.928	63.867,7946

Contingencia (15%)	97.392	95.801,6919
Total	811.601	798.348,416

Fuente: Aranguren A. (2022).

Exploración

Si bien la planificación de la etapa de exploración comienza al inicio de la investigación, una vez que se realice la recolección de datos de la etapa anterior y los permisos legales sea aceptados, se puede comenzar con la geología en detalle. Así también, se realizan los estudios geoquímicos, geofísicos, entre otros, como, análisis topográficos y recolección de muestras del lugar, que se analizan mediante diferentes estudios de suelo. La exploración mediante sondeos o pruebas de exploración, se utiliza básicamente para comprobar la presencia de rocas o lugares donde se puedan encontrar yacimientos geotérmicos bajo la superficie.

Esta etapa es la más larga y riesgosa en la cual se requiere una inversión cuantiosa de capital ya que no se tiene certeza si el recurso geotérmico cuenta con el potencial suficiente que permita recuperar el capital invertido, en esta etapa se desarrolla un conjunto de estudios tanto topográficos como geológicos, geofísicos y geoquímicos.

Los costos de los estudios de esta fase como, los MT, TEM, orificios de gradiente de perforación o sísmicos, dependen del tamaño y la accesibilidad del sitio geotérmico, de la disponibilidad de las herramientas y los equipos necesarios. Los costos mínimos de exploración de un sitio geotérmico serian en muchos casos de US\$ 1 a 2 millones, donde cada pozo de gradiente puede agregar de US\$ 0,5 a 1 millones. Como todos los proyectos son diferentes, es difícil entregar un costo de inversión necesario para esta fase y la anterior.

Tabla 9: Costos de Exploración

	Etapa de Exploración	
	Dólares (US\$)	Euros (€)
Geología en detalle	128.507	126.408,617
Geoquímica	108.597	106.823,726
Geofísica	355.958	350.145,583
Geohidrología	163.801	161.126,303
Otros (Datos sísmicos, estudio de factibilidad y movilización)	216.290	212.758,214

subtotal	2.496.863	245.6091,87
Ingeniería y supervisión (10%)	249.686	245.608,892
Contingencia (15%)	374.529	368.413,339
Total	3.121.078	3.070.114,11

Fuente: Aranguren A. (2022).

Etapa de construcción

Dentro de esta etapa se toman en cuenta, la planificación del proyecto, que comprende el estudio de factibilidad, el impacto ambiental. La perforación del pozo que para el caso en cuestión se cuenta con éste, lo cual abarato los costos de esta etapa del proyecto y la construcción de la planta la cual abarca una serie de elementos tales como obras civiles, montaje de las unidades y los distintos módulos necesarios, entre otros.

Tabla 10: Costos de planificación del proyecto

Planificación del Proyecto		
Ítem	Dólares (US\$)	Euros (€)
Estudio de factibilidad	200.000	196.734,21
Estudio de Impacto ambiental	120.000	118.040,53
Planificación del proyecto	681.674	670.542,99
Total	1.001.674	985.317,73

Fuente: Aranguren A. (2022).

Tabla 11: Costos de Construcción de la Planta

Construcción de la planta		
Ítem	Dólares (US\$)	Euros (€)
Maquinaria	10.000.000	983.6710,6
Obras civiles	600.000	590.202,64
Montaje e Instalación	550.00	541.019,08
Arranque y puesta en marcha	900.000	885.303,95
Total	12.050.000	11.853.236,3

Fuente: Aranguren A. (2022).

Tabla 12: Inversión inicial del Proyecto

Inversión inicial del Proyecto	
Ítem	Dólares (US\$)
Inspección topográfica preliminar (ITP)	811.601
Etapa de Exploración	3.121.078
Planificación del Proyecto	1.001.674

Construcción de la Planta	12.050.000
Total Inversión	16.984.353

Fuente: Aranguren A. (2022).

Costos

a.- costos de mantenimiento y operación

Los costos de mantenimiento y operación son los generados por la prestación de servicios del personal que opera la planta, así como los necesarios para el buen funcionamiento del campo geotérmico, el mantenimiento necesario para el buen desenvolvimiento de las operaciones de la central generadora de electricidad. Se toma como referencia datos reflejados en el campo internacional, en tal sentido se tiene que Estévez (2012) indica que se genera un costo de 0.020\$/ kWh, de donde se tiene que el costo anual de O&M viene a ser \$175.200 USD.

Ingresos Anuales

Tabla13 : Ingresos Anuales

	Potencia en KW	Energía disponible al mes kWh	Costo Energía	Energía Anual (kWh/año)	Monto Venta Anual
Venta de energía	1000	720.000	0.695	8.322.000	5.783.790
O&M					166.440
Total					5.617.350

Fuente: Aranguren A. (2022).

Depreciación

La depreciación corresponde a la disminución de valor de los bienes materiales o no materiales que sufren debido al uso o a través del tiempo. Existen diferentes formas de considerar una depreciación, que puede ser por tipo del bien, ya sea materiales, equipos o construcciones. De todos los mencionados, se está claro que se busca identificar que el bien sufrirá un desgaste en su valor a través del tiempo. Para este estudio se utilizará la depreciación lineal, que consiste en calcular el tiempo de utilidad del bien (normalmente en años) y luego depreciarlo en la cantidad mensual o anual. Considerando que la vida útil de

la planta geotérmica es igual a 30 años y el monto a depreciar es la inversión total del proyecto, se tiene que la depreciación anual es:

$$Depreciación_{anual} = \frac{Inversión}{Tiempo de Utilidad}$$

$$Depreciación_{anual} = \frac{16.984.353}{30} = 566.145,1$$

Flujo de caja del proyecto

El flujo de caja corresponde a un informe financiero que considera los ingresos y egresos de dinero por un periodo de tiempo dado. Esto nos permite conocer de forma rápida la liquidez de la empresa, y además determinar, los parámetros financieros como el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y periodo de recuperación de la inversión, que nos permitirán saber si el proyecto es atractivo desde el punto de vista económico, para decidir si realizar la inversión en él.

El valor actual neto (VAN) es un procedimiento de cálculo que permite obtener el valor presente de una cantidad conocida de flujos de caja futuros, que fueron obtenidos por un determinado proyecto.

Para conocer si el proyecto5 en estudio es rentable, el valor del VAN debe ser mayor que cero. Este valor es calculado mediante la siguiente expresión:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^n \frac{F_{cn}}{(1+r)^n}$$

Donde:

VAN: Valor actual neto.

I₀: Inversión inicial del proyecto.

F_{cn}: Flujo de caja del periodo n.

n: Horizonte de tiempo.

r: Tasa de descuento.

La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR), corresponde a tasa mínima para la cual el proyecto sea rentable. La TIR se compara con la tasa de descuento, y

si resulta ser mayor que esta tasa, entonces, el proyecto es rentable. Por lo general, mientras mayor sea la TIR mayor rentabilidad tiene el proyecto. La forma de determinar la TIR es igualando el VAN a cero en la Ecuación siguiente.

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^n \frac{Fcn}{(1 + TIR)^n}$$

Donde:

I_0 : Inversión inicial del proyecto.

Fcn : Flujo de caja del periodo n .

n : Horizonte de tiempo.

r : Tasa de descuento.

TIR : Tasa interna de retorno.

Por último, el periodo de recuperación, es un valor que indica el periodo de tiempo necesario para recuperar la inversión realizada por el proyecto y el tiempo mínimo para recibir utilidades hacia la empresa. El Pay-back, se determina por la siguiente ecuación:

$$\text{Pay - Back} = \text{Año}_{u\text{-negativo}} + \frac{\text{Fca}_{u\text{-negativo}}}{\text{Fca}_{\text{año-siguiente}}}$$

Donde:

Pay - Back : Periodo de recuperación del proyecto.

$\text{Año}_{u\text{-negativo}}$: Año del último flujo acumulado negativo.

$\text{Fca}_{u\text{-negativo}}$: Flujo de caja acumulado último negativo.

$\text{Fca}_{\text{año-siguiente}}$: Flujo de caja neto del año siguiente al $\text{Fca}_{u\text{-negativo}}$.

Tabla 14: Parámetros de entrada

: Parámetros de entrada	
Capacidad Instalada (MWe)	1Mw
Factor de planta (%)	95%
Número de horas al año (horas)	8.760
Precio de nudo de energía (US\$/MWh)	65,00
Incremento de la tarifa (%)	1,0%

Producción anual de energía (GWh)	8.322
Costos O&M (US\$/MWh)	20,00
Horizonte de tiempo (años)	30
Inversión (US\$)	16.984.353
Tasa de descuento (%)	6,0%

Fuente: Aranguren A. (2022).

Tabla 15: Detalles de Inversión

Detalles de Inversión	
Tasa de interés anual	6%
Número de pagos	96
Monto de Inversión	16.984.353
Cuota Mensual	223.198,69
Cuota Anual	2.678.384,28

Fuente: Aranguren A. (2022).

Tabla 15: Tasa Interna de Retorno

Períodos	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
Inversión inicial	16984353					
Ingresos		5.783.790	5.783.790	5.783.790	5.783.790	5.783.790
Egresos		2.678.384,28	2.678.384,28	2.678.384,28	2.678.384,28	2.678.384,28
Depreciación		566.145,10	566.145,10	566.145,10	566.145,10	566.145,10
Costos de Mantenimiento y Operaciones		166.440	166.440	166.440	166.440	166.440
Flujo Neto		2.372.821	2.372.821	2.372.821	2.372.821	2.372.821
Flujo Acumulado		-14.611.532	-12.238.712	-9.865.891	-7.493.071	-5.120.250
	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10	año 11

5.783.790	5.783.790	5.783.790	5.783.790	5.783.790	5.783.790
2.678.384,28	2.678.384,28	2.678.384,28	2.678.384,28	2.678.384,28	2.678.384,28
566.145,10	566.145,10	566.145,10	566.145,10	566.145,10	566.145,10
166.440	166.440	166.440	166.440	166.440	166.440
2.372.821	2.372.821	2.372.821	2.372.821	2.372.821	2.372.821
-2.747.429	-374.609	1.998.212	4.371.033	6.743.853	9.116.674

Tasa = 6%

TIR= 8%

PR = 8 años

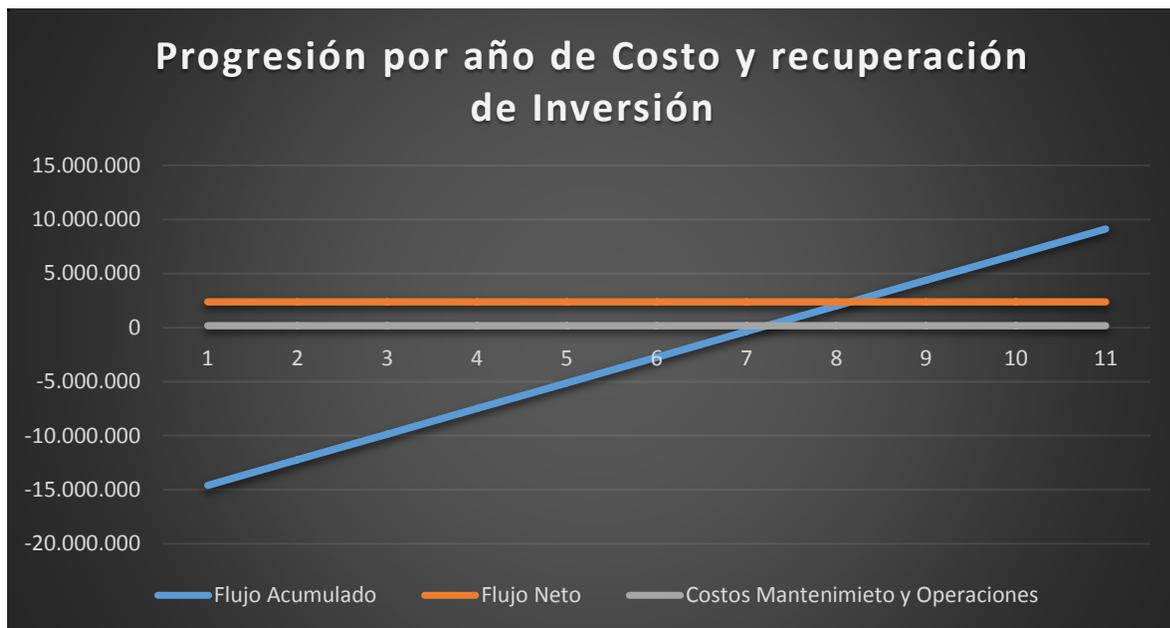
VAN= 18.714.138,62

VNA= 1.729.785,62

Para el cálculo de la TIR, VAN se usó el aplicativo Excel, en el cual arrojó como resultados 8%, de igual forma se observa en la tabla anterior ya para el período 8 la inversión ya se ha recuperado, tomando en cuenta los precio internacional de la energía, en el caso de venezolano el estado asume los costos en materia de energía, debido a que en el país ésta es subsidiada.

Por otro lado, de acuerdo a la TIR el proyecto tiene factibilidad económica, con un tiempo de recuperación de la inversión de 8 años, es de hacerse notar que por ser un proyecto social se tendría un impacto enorme en la población del sector ya que beneficia a 180 familias del sector.

Gráfico 3: Progresión por año de Costo y recuperación de Inversión



Fuente: Aranguren (2022)

En la gráfica se muestra el comportamiento del flujo neto, los costos de mantenimiento y operación y el flujo acumulado, es de hacer notar que la inversión está expresada en Dólares de los estados unidos de norte Américas, dichos precios corresponde valores presentados por lagos (2019). Los costos de mantenimiento y operación son los principales y se mantienen constantes, al igual que el flujo neto que representa lo generado por la venta de la electricidad menos los deducible que propios del proyecto, el flujo acumulado representa la dinámica de recuperación del capital, se puede observar que para el octavo período ya éste se hace positivo lo cual muestra que hay ganancias a partir de ese período

CONCLUSIONES

- En la investigación realizada se tiene que en el campo Borburata donde existe una gran cantidad de energía acumulada en el subsuelo, con una profundidad de 10.500'; Esta energía puede ser utilizada para aplicaciones directas e indirectas para generar electricidad.
- Utilizando la metodología detallada en este informe se logra describir el esquema de la planta Geotérmica de ciclo binario para la producción de energía eléctrica en el pozo Bor 22 del campo Borburata), para ello se puede contar con el esquema o modelo propuesto para la planta de generación de energía eléctrica a través de energía geotérmica en Chile.
- De acuerdo con la temperatura de salida del pozo ésta suministra un flujo de agua a una temperatura de 230 °F o 110 °C en tal sentido se debe contar con un módulo con temperatura de entrada menores a ésta.
- La utilización del pozo en abandono en el campo Borburata (BOR 22) para la generación de energía eléctrica, resulta ser factible técnicamente, ya que, mediante el trabajo en conjunto de los equipos y componentes del sistema, se logra poner en funcionamiento la turbina ya que se encuentra en la región de vapor sobrecalentado y permite el aprovechamiento de la entalpia a través de un regenerador antes que el vapor sea condensado, lo que permitiría la generación de energía eléctrica. Si bien no se logra satisfacer el total de la demanda, se alcanza un gran porcentaje de cobertura, logrando reducir el consumo de combustible fósiles, la dependencia de este recurso agotable y las emisiones que implica.
- En términos técnico - económicos, el proyecto resulta ser atractivo ya que se tiene un tiempo relativamente corto de unos ocho años para la recuperación de la inversión, de igual manera, siendo que en Venezuela el estado es quien genera y suministra energía los costos de mantenimiento y operación se reducen debido a esta misma razón, reduciendo considerablemente la diferencia con el precio del gas natural y dando como resultado un mejor escenario para el proyecto.

-Cabe mencionar que este estudio puede extenderse a otras localidades de la Región de Barinas que cuenten con pozos cercanos en estado de abandono. A su vez, con el objetivo de lograr satisfacer el total de la demanda de energía térmica de la localidad y eliminar por completo la dependencia del gas natural, se puede considerar el utilizar otra fuente de energía limpia en base a un recurso renovable o utilizar más de un pozo de petróleo para la generación de calor por geotermia, de modo que funcione como un complemento y ayude a llegar a una cobertura del 100%. Adicionalmente, se puede estudiar el aprovechar la energía generada sobrante en los meses de verano, en alguna aplicación en la localidad de modo de no desperdiciarla, como por ejemplo en algún proceso industrial.

-Una vez finalizado el estudio es posible mencionar que la energía geotérmica es una energía limpia, que no utiliza combustibles fósiles para su funcionamiento, y aunque sus inversiones sean elevadas, puede ser muy competitiva desde el punto de vista ambiental y ser un reemplazo a las centrales de carbón, gas y petróleo, e incluso puede competir con las centrales de energía renovable.

Se deben realizar aportes o incentivos del estado a proyectos de este ámbito, de modo que se reduzcan las inversiones y los riesgos en las fases tempranas, con el fin de hacer un país más dependiente del recurso energético nacional e independiente de los precios del combustible

RECOMENDACIONES

-Ampliar la propuesta a fin de que se logre obtener todos los parámetros requeridos para dar cumplimiento a la estructura de costos y mediciones para los requerimientos y de esta manera impulsar a través de las empresas encargadas de la generación de energía eléctrica sobre la alternativa de utilización de la energía geotérmica desde el pozo BOR 22, del Campo Borburata.

-Que los cálculos propuestos sean estudiados a profundidad por PDVSA y sus filiales en conjunto con las políticas gubernamentales, basándose en la necesidad de mejorar el servicio de energía eléctrica en el país, al mismo tiempo que le darán uso a este recurso valioso que puede ofrecer desarrollo eléctrico de eficiencia para el país.

REFERENCIAS

- Acosta L. (2020). Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Estudios Ambientales y Rurales Bogotá, Colombia. Disponible en: https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/48146/Carta_de_autorizacion_LucreciaAcosta.pdf?sequence=2&isAllowed=n
- Alfonzo, I. (1994). Técnicas de investigación bibliográfica. Caracas: Contexto Ediciones.
- Angulo N. 2018. Embalse Santo Domingo está lleno y la planta Páez produce cero megavatios. Disponible en línea en: <http://www.lossinluzenlaprensa.com/embalse-santo-domingo-esta-lleno-la-planta-paez-produce-cero-megavatios/> (Acceso 18.04.2022)
- Arias F. (2006). Cómo hacer un proyecto de investigación. Caracas Venezuela.
- Arias R. (2018). Fallas de combustible mantienen paralizadas a termoeléctricas en Venezuela. Disponible en línea en: <https://www.descifrado.com/2018/03/19/fallas-de-combustible-mantienen-paralizadas-a-termoelectricas-en-venezuela/> (Acceso 18.04.2022)
- Diccionario de la Real Academia Española. (2021).
- Duer, W. (2017). Matar, Sellar y Abandonar pozos. en <https://opsur.wordpress.com/2010/04/22/matar-sellar-y-abandonar-pozos/>. Fecha de consulta: 11/11/2022.
- Caixia, S. (2008). Feasibility Study of Geothermal Utilization of Yangbajain Field in Tibet Autonomous Region, P.R.CHINA. MSc. Thesis, United Nations University, Reykjavik-Islandia.
- Cañas, J. Ortiz, S. y Villadiego, D. (2021), en su estudio denominado: estudio de factibilidad de un proyecto de energía geotérmica en operaciones de crudo y gas en un campo de la cuenca de los Llanos Orientales Bogotá. Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ingeniería Mecánica. Maestría en Ingeniería de Petróleos. Proyecto Colectivo Integrador
- Cárdenas I. 2010. La crisis será atacada con “siembra de lluvias”. Mas de 29 metros ha descendido el embalse Uribante-Caparo. Disponible en línea en: <http://www.correodelorinoco.gob.ve/mas-29-metros-ha-descendido-embalse-uribante-caparo/> (Acceso 18.04.2022).
- El Estímulo. (2018). Corpoelec sobreexplotó embalses andinos, dicen trabajadores. Disponible en línea en: <http://elestimulo.com/elinteres/corpoelec-sobreexplota-embalses-andinos-dicen-trabajadores/> (Acceso 18.04.2018).

Estévez, 2012 IRENA, 2015- Geothermal Power Plant Projects in Central America: Technical and Financial Feasibility Assessment Model (Msc Thesis presented at Faculty of Industrial Engineering, Mechanical Engineering and Computer Science University of Iceland, 2012). Documento disponible en: <http://www.os.is/gogn/unu-gtpreport/UNU-GTP-2012-04.pdf>

Guevara M. (2017). Miembro del equipo técnico del Plan País Electricidad. Integrante de Acuerdo Social, asociación civil dedicada a la elaboración de propuestas de políticas públicas para Venezuela (acuerdosocialvenezuela@gmail.com).

Geothermal Education Office (2001) Fumarolas, laguna de aguas termales y volcán de fango.

Gómez J. 2015. Seguridad Energética: Amenazas a la Generación Hidroeléctrica en Venezuela. El Potencial Hidroeléctrico Nacional. Grupo Orinoco Energía y Ambiente, Caracas, Venezuela. Foro. Documento en línea. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/330281753_represas_hidroelectricas_en_los_andes_venezolanos_problematika_ambiental_crisis_energetica_y_energias_alternativas

Guía de la Energía Geotérmica.

Gussow M. (1994). Fundamentos de Electricidad. Mc Graw Hill. México.

Horowitz J. (2021). Se avecina una crisis energética mundial y no tiene una solución rápida. Documento en línea. Disponible en: <https://cnnespanol.cnn.com/2021/10/07/avecina-crisis-energetica-mundial-no-tiene-una-solucion-rapida-trax/>

J. G. Velasco, Energías renovables, Barcelona: REVERTE, 2009.

J. R. E. Salas, «Geothermal power plant projects in central america: technical and financial feasibility assessment model,» geothermal training programme, n° 4, p. 15, 2012.

Lagos S. (2017). Estudio de factibilidad para la instalación de una central geotérmica en Chile. Trabajo Final de Grado presentado a la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Vilanova I La Geltrú (EPSEVG), de Chile.

Lara, M. y Aguilar, J. G. (2018): «Acciones para la recuperación y modernización del sector eléctrico en Venezuela». Grupo Ricardo Zuloaga. <https://elecciones7oenbilbao.files.wordpress.com/2019/02/resumen-ejecutivo-plan-de-acciones-para-recuperacioc81n-y-modernizacioc81n-sector-elecc81ctrico-en-venezuela.pdf>.

Llopis G. y Angulo V. (2008). Guía de la energía geotérmica. Documento en línea. Disponible en: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-la-energia-geotermica.pdf> . Consultado el 02 de octubre de 2021.

Marin D. (2016). Estudio de Pre factibilidad para la Generación de Energía Eléctrica a Partir del Río Consotá y Capacidad de Generación con Energía Solar en la Zona del Parque Consotá Pereira Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista.

- Martins L. (2014). Geotermia. Energía desde el corazón de la tierra. Documento en línea. Disponible en: <https://hazrevista.org/rsc/2014/04/geotermia-energia-desde-el-corazon-de-la-tierra/>
- Mwagomba, T. (2016). Preliminary Technical and Economic Feasibility Study of Binary Power Plant for Chiweta Geothermal Fields, Malawi. M.Sc. thesis, UNU-GTP, Reykjavik University, 1-70
- Pinto O. (2019). Análisis Técnico y Recomendaciones para el Aprovechamiento del Recurso Geotérmico Disponible en Campos de Petróleo. Trabajo de grado presentado a la Universidad de El Salvador facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Posgrado Diplomado en Geotermia para América Latina, Edición 2019.
- Ramírez E. Pintado y Pinedo M. (2015). Análisis y evaluación del potencial geotérmico para su aprovechamiento mediante una central de ciclo binario para generación de potencia eléctrica en la región Corongo-Ancash, Perú, Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote - Peru, 2015
- Ramos F. y De Rojas I. (2017). Geo. De Venezuela. República Bolivariana de Venezuela.
- Trucco, N. (2020). Rehabilitación de pozos petroleros para la generación de calor por geotermia en la Región de Magallanes. Documento en línea. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173803>. Consultado el 01 de diciembre de 2021.
- Velázquez M. Vallejos I., Mata A. (2018). factibilidad para determinar la viabilidad de construir un pozo geotérmico vertical profundo para el manejo de fluidos de reinyección 2018. Instituto Costarricense de Electricidad.
- Vivas, Ch. (2021). Caracterización de pozos petroleros aprovechables para la producción de energía geotérmica” en Bogotá, Colombia
- Universidad de Chile. (2022). Factibilidad de cogeneración geotérmica en Puyuhuapi Documento en línea. Disponible en: <https://www.uchile.cl/noticias/187142/estudio-demuestra-factibilidad-de-cogeneracion-geotermica-en-aysen>
- Wight, N. M., & Bennett, N. S. (2015). Geothermal energy from abandoned oil and gas wells using water in combination with a closed wellbore. Applied Thermal Engineering, 89, 908–915.