

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



**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**

**TESIS PARA OPTARELTÍTULO
PROFESIONALDEINGENIEROEN ENERGÍA**

TESISTA(S)

Bach.Ing. PINEDO MINES. Christian Fernando.

Bach.Ing. RAMIREZ PINTADO. Elvis Gustavo.

ASESOR

Mg. GUEVARA CHINCHAYÁN, Robert Fabián.

NUEVO CHIMBOTE-PERU

ABRIL 2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

Por la presente se da conformidad a la sustentación al estudio desarrollado en cumplimiento a la normativa vigente y al reglamento general para obtener el título profesional en la Universidad Nacional del Santa (Resolución N° 471-2002-CU-R-UNS) del Informe Final de Tesis titulado **“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,PERU”** elaborado por los Bachilleres, **PINEDO MINÉS, Christian Fernando** y **RAMIREZ PINTADO, Elvis Gustavo**. Se ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación .Por tal motivo firmo el presente trabajo en calidad de Asesor.

Mg. GUEVARA CHINCHAYÁN, Robert.

ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

Por la presente se da conformidad a la sustentación al estudio desarrollado en cumplimiento a la normativa vigente y al reglamento general para obtener el título profesional en la Universidad Nacional del Santa (Resolución N° 471-2002-CU-R-UNS) del Informe Final de Tesis titulado “**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,PERU**” elaborado por los Bachilleres, **PINEDO MINÉS, Christian Fernando** y **RAMIREZ PINTADO, Elvis Gustavo**.

Mg. Amancio Rojas Flores
PRESIDENTE

Mg. GUEVARA CHINCHAYÁN, Robert.
INTEGRANTE

Mg. Roberto Chucuya Huallpachoque
INTEGRANTE

Ing. Carlos Montañez Montenegro
ACCESITARIO

DEDICATORIA

PINEDO MINÉS, Christian Fernando

*A Dios; por iluminarme y estar siempre presente en mi vida.
A mi madre Jacinta Minés Cabellos; por ser siempre las fuerzas que me impulsa para poder seguir adelante; el apoyo más grande en mi realización profesional, mi eterna gratitud.*

RAMIREZ PINTADO, Elvis Gustavo

Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado.

*A mis padre; Dora Pintado Paz y Rosario Ramirez Pumaricra;
hermanos y familiares en general.*

AGRADECIMIENTO

PINEDO MINES, Christian Fernando.

Al Mg. Robert Guevara Chinchayán, Docente de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía de la Universidad Nacional del Santa por sus lecciones brindadas en aula y por ser mis asesor de este Trabajo de Investigación.

RAMIREZ PINTADO, Elvis Gustavo

Agradecerte a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A mi asesor de tesis, Mg. Robert Guevara Chinchayán, por su esfuerzo y experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

RESUMEN

En los estudios realizados por INGEMET se desarrolló el mapa de regiones geotermales del Perú, en el cual se establecen 6 regiones geotermales en el siguiente orden: Cajamarca - La Libertad (Cajamarca y sierra norte de La Libertad), Callejón de Huaylas (sierra sur de La Libertad, sierra de Ancash y Huánuco), Churín (Lima, Huánuco, Pasco y Junín), Central (Junín, Lima, Huancavelica y Ayacucho), Eje Volcánico Sur (Apurímac, Cuzco, Arequipa, Moquegua y Tacna), Cuzco - Puno (Cuzco, Puno y parte de Madre de Dios). De todas éstas regiones sólo la región Eje Volcánico Sur y Callejón de Huaylas son zonas de interés geotérmico.

En la región Callejón de Huaylas se definen 3 lotes geotérmicos: Huaraz, Caraz, Corongo, siendo la última la zona de investigación de este proyecto debido a que sus fuentes hidrotermales presentan las temperaturas adecuadas.

Este proyecto se centra en la evaluación técnica y económica para determinar la viabilidad del aprovechamiento del recurso geotérmico que se encuentra en los baños de Aquilina de la provincia de Corongo, el cual presenta una geotermometría de 220°C a 290°C, pero sus aguas poseen altos contenidos de arsénico y otros minerales que pueden resultar corrosivos para su aprovechamiento directo por lo que se opta por el ciclo binario.

Para el análisis técnico se ha considerado como fluido de trabajo el isopentano, refrigerante con bajo punto de ebullición (28 °C) y con características robustas resistentes a bruscos cambios de presión y

temperatura; también que el flujo másico del fluido geotérmico se mantiene constante al igual que su temperatura y se tomó en cuenta la eficiencia de los componentes principales del ciclo (turbina, generador, intercambiador de calor).

Como resultado obtuvimos mediante balance de masa, un flujo másico de 55.48 Kg/s de isopentano, considerando las condiciones de la región y un flujo másico del fluido geotermal de 15 Kg/sg. Bajo este dato importante la central geotérmica produce una potencia eléctrica de 4.127 MW con una eficiencia de planta de 20 %

Para el análisis económico se consideró, un periodo de análisis de 20 años, el despacho en base y los precios en barra publicados por OSINERGMIN. Según nuestros cálculos de ingeniería obtuvimos una inversión inicial total de 16,430,744.63 US\$, ingresos anuales de 1,820,953.28 US\$/año por venta potencia y energía considerando el precio en la barra de potencia en Huallanca, egresos anuales de 941,101.33 US\$/año, un VAN de - 9,858,740.00 US\$ índice que muestra un valor negativo, lo que significa que el proyecto no es rentable, PRI índice de años de recuperación de la inversión muestra 18.67 años. Estos índices económicos muestran la gran inversión y la poca rentabilidad que se tiene en el proyecto de la central geotérmica, como todos los proyectos de recursos renovables estos tienen que ser subsidiados por el estado según la Ley de Promoción de Recursos Renovables DL 1002-2008.

Palabra clave: Central geotérmica de Ciclo Binario.

Abstract

In the studies realized by INGEMENT, it developed the map of geothermal regions of the Perú. whereby it establishes 06 geotermiales regions in the following order: Cajamarca, La Libertad (Cajamarca and sierra north of La Libertad), Callejón de Huaylas (sierra south of La Libertad, sierra of Ancash and Huanuco), Churin (Lima, Pasco, Huanuco y Junin), Center (Junín, Lima, Huancavelica y Ayacucho), Volcanic axis of the South (Apurimac, Cuzco, Arequipa, Moquegua y Tacna), Cuzco, Puno and part of Madre Of God. Of all this regions, only the volcanic axis of south has interest geothermic.

In the region of Callejon Of Huaylas there are 3 geothermal lots: Huaraz, Caraz, Corongo, being this last the research zone of this proyect due to its hidrotermales sources have temperatures suitable.

This project focuses on the technical and economic assessment to determine the feasibility of using geothermal resource which there are in the bathrooms of Aquilina, Corongo province, which has a geothermometry of over 220°C to 290°C, but its waters have high content of arsenic and other minerals that can be corrosive for direct use, so that opt for the binary cycle.

For technical analysis has been considered as the working fluid isopentane, refrigerant with low boiling point (28 °C) and robust features resistant to sudden changes in pressure and temperature; also that the mass flow of geothermal fluid remains constant as the temperature and took into account the efficiency of the main components of the cycle (turbine, generator, heat exchanger).

As a result we obtain by mass balance, a mass flow of 55.48 kg / sec. isopentane, considering the conditions of the region and a mass flow of geothermal fluid of 20 Kg / sec. Under this important fact, geothermal plant produces an electrical output of 5.085 MW with an efficiency of 26.65% plant

For the economic analysis, we considered a period of analysis of 20 years, based office and prices in bar published in OSINERGMIN . According to our engineering calculations we obtained a total initial investment of 16,430,744.63 US\$, annual revenues of 1,820,953.28 US\$/year considering the price in bar of power of Huallanca, annual expenditures of 941,101.33 US\$/year, a VAN of US \$ - 9,858,740.00 US\$ index showing a negative value, which means that the project is not profitable, PRI index year payback shows 18.67 years. These economic indicators show the large investment and low profitability which has in the geothermal power plant project, as many of the projects of renewable resources they have to be subsidized by the state according to the Law for Promotion of Renewable Resources 1002-2008 DL.

Keyword: Binary Cycle Geothermal Plant.

Contenido

CAPÍTULO I	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
1.1. INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	¡Error! Marcador no definido.
1.3. REALIDAD DEL PROBLEMA	¡Error! Marcador no definido.
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	¡Error! Marcador no definido.
1.5. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	¡Error! Marcador no definido.
1.6. HIPÓTESIS GENERAL DE INVESTIGACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
1.7. OBJETIVOS GENERALES	¡Error! Marcador no definido.
1.8. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	¡Error! Marcador no definido.
1.9. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO II	¡Error! Marcador no definido.
MARCO TEÓRICO	¡Error! Marcador no definido.
2.1. ENERGÍA RENOVABLE	13
2.1.1.ENERGÍA EÓLICA	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.2.ENERGÍA MAREOMOTRIZ	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.3.ENERGÍA SOLAR	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.4.ENERGIA DE BIOMASA	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.5.ENERGIA BIOCARBURANTE	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.6.ENERGÍA HIDRÁULICA	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.7.ENERGÍA GEOTÉRMICA	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.7.8.2.COMPLEJO GEOTÉRMICO LARDERELLO (ITALIA)	
¡Error! Marcador no definido.	

2.1.7.8.3.COMPLEJO GEOTÉRMICO CERRO PRIETO (MÉXICO)	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.7.8.4.COMPLEJO GEOTÉRMICO MAKBAN (FILIPINAS)	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.7.8.5.COMPLEJO GEOTÉRMICO SALTON SEA (EE.UU)	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.7.8.6.COMPLEJO GEOTÉRMICO HELLISHEIDI (ISLANDIA)	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.7.9.1.REGIÓN 1: CAJAMARCA - LA LIBERTAD.....	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.7.9.2.REGIÓN 2: CALLEJÓN DE HUAYLAS.....	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.7.9.3.REGIÓN 3: CHURÍN.....	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.7.9.4.REGIÓN 4: CENTRAL.....	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.7.9.5.REGIÓN 5: EJE VOLCÁNICO SUR.....	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.7.9.6.REGIÓN 6: CUZCO - PUNO.....	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.8.CICLO RANKINE BINARIO.....	
¡Error! Marcador no definido.	
2.1.9DIAGRAMA T-S DEL CICLO.....	
¡Error! Marcador no definido.	
CAPÍTULO III:	¡Error! Marcador no definido.
MATERIALES Y METODOLOGÍA DE CÁLCULO	¡Error! Marcador no definido.

3.2.1.PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA BINARIO BÁSICO	
¡Error! Marcador no definido.	
3.2.2.COMPONENTES DEL CICLO RANKINE.....	
¡Error! Marcador no definido.	
3.3.1.Valor Actual Neto (VAN)	
¡Error! Marcador no definido.	
3.3.2.Tasa Interna de Retorno (TIR)	
¡Error! Marcador no definido.	
3.3.3.Periodo De Retorno de la Inversión (PRI)	
¡Error! Marcador no definido.	
3.3.4.INVERSIONES Y COSTOS.....	
¡Error! Marcador no definido.	
3.3.5.INGRESOS.....	
¡Error! Marcador no definido.	
3.3.6.Ingreso por concepto de venta de energía:	
¡Error! Marcador no definido.	
3.3.7.Ingreso por concepto de venta de potencia:	
¡Error! Marcador no definido.	
CAPÍTULO IV	¡Error! Marcador no definido.
CÁLCULOS JUSTIFICADOS	¡Error! Marcador no definido.
TABLA 4.12. COMPARACION DEL PROYECTO	¡Error! Marcador no definido.
4.1. ESQUEMA DE LA PLANTA DE CICLO BINARIO	¡Error! Marcador no definido.
4.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA	¡Error! Marcador no definido.
4.2.1.DESCRIPCIÓN DE LAS INVERSIONES Y COSTOS.....	¡Error! Marcador no definido.

4.2.2.DESCRIPCIÓN DE LOS INGRESOS.....	¡Error! Marcador no definido.
4.3. DIAGRAMA DE FLUJO DE EFECTIVO	¡Error! Marcador no definido.
4.3.1.CÁLCULO DEL VAN.....	¡Error! Marcador no definido.
4.3.2.CÁLCULO DEL TIR.....	¡Error! Marcador no definido.
4.3.3.CÁLCULO DEL PRI.....	¡Error! Marcador no definido.
4.3.4.COSTO POR POTENCIA INSTALADA.....	¡Error! Marcador no definido.
4.3.5.COSTO DE GENERACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
TABLA 4.10. COSTO DE GENERACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
TABLA 4.11. RESUMEN DEL ANALISIS ECONOMICO	¡Error! Marcador no definido.
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	116
CONCLUSIONES.....	120
RECOMENDACIONES.....	122
BIBLIOGRAFÍA.....	124
ANEXO	

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de la energía geotérmica mediante ciclos binarios viene utilizándose décadas atrás, datando del 1967 en Nueva Zelanda. Se adopta este tipo de tecnología cuando la temperatura del recurso no es muy elevada, es decir, en los yacimientos de media temperatura, o cuando las condiciones del fluido geotérmico no son los más aptos para el contacto directo con los mecanismos de la planta; y se emplea un fluido secundario de carácter orgánico en el ciclo de potencia, y por ello se le denomina Ciclo de Rankine Binario (CRB).

Los CRB's emplean el mismo principio de funcionamiento que un ciclo de Rankine convencional, pero al emplear un fluido orgánico presentan características específicas que permiten simplificar el ciclo, conduciendo a equipos mucho más compactos.

Hoy en día las centrales de ciclo binario son el tipo de planta geotérmica más utilizado para generar electricidad. Existen 155 unidades de ciclo binario en operación, generando 274 MW de electricidad en 16 países. Sin embargo, a pesar de constituir el 33% de todas las unidades geotérmicas en operación en el mundo, las plantas de ciclo binario generan solamente el 3% del total de la energía eléctrica de origen geotérmico.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Región Corongo-Ancash, Perú existe el recurso geotérmico que hasta la actualidad es intangible, y que su aprovechamiento podría ser muy beneficioso, en esencia para cubrir parte de la demanda de energía que existe en dicha zona.

La electricidad es una fuente de energía principal, que en muchas zonas del Perú se vuelve costoso y discriminatorio; por ello realizar un proyecto de generación eléctrica en dicha región, llevaría a la región de Corongo a la sostenibilidad y al confort tanto de su población como para el turismo, siendo este bien, más barato y con más acceso a más familias y distintos negocios.

1.3. REALIDAD DEL PROBLEMA

Durante los años 70 se efectuaron estudios y evaluaciones preliminares de los recursos geotérmicos del Perú, por diversas instituciones como Electro Perú, INGEMMET, Proyecto Especial Tacna (PET) y el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) con el apoyo y colaboración de organismos internacionales. Uno de los estudios más relevantes fue realizado por INGEMMET entre 1997 y 2003, en el cual se muestrearon más de 500 manifestaciones superficiales de más de 20°C, en todo el país. Los resultados fueron descritos en 6 informes de INGEMMET. Con el fin de ayudar a las decisiones de gestión que deben adoptarse para posibles inversiones en la exploración geotérmica y/o explotación, los geocientíficos de INGEMMET actualizaron el mapa geotérmico del Perú, basado en los

trabajos anteriores (Cossio y Vargas, 1979; Huamaní y Valenzuela, 2003; Fidel et al, 1997, etc.).

Después de la enmienda a la Ley de Recursos Geotérmicos realizada en abril de 2010, se presentaron una gran cantidad de solicitudes para derechos de exploración de las cuales, a Diciembre de 2011, 98 formularios de solicitud fueron aceptados por el MEM, de los cuales, ya se concedió oficialmente la exploración de un total de 20 a cuatro empresas (de Canadá, Australia, de los Estados Unidos de América y otra con sede en Perú).

El primer estudio serio de geotermia en Perú se inició en 1975 cuando Minero Perú llevó a cabo un estudio geoquímico en la región de Caracoa del Departamento de Moquegua. En 1978, el INGEMMET hizo un Inventario de las actividades termales conocidas en el país y las agrupó geográficamente en seis regiones. De 1979 a 1980, con el apoyo financiero de la OLADE, INGEMMET ha colaborado con Aquatec de Italia para la realización del estudio de los recursos de energía geotérmica en la Región V y se identificaron posibles campos geotérmicos como Tutupaca, Calacoa, Challapalca, Salinas Laguna, Chachani y Chivay. De acuerdo con un convenio de asistencia técnica con British Geological Survey, INGEMMET puso en marcha un estudio preliminar en la Región VI: Cusco-Puno, y mostró que algunos reservorios en la zona podría tener una temperatura hasta de 160 °C.

Por otra parte, Electroperú SA envió a sus ingenieros a cursos de especialización de energía geotérmica en Italia, Japón y otros países

en sus esfuerzos para establecer una Unidad de Investigación Geotérmica con el fin de adquirir un permiso para explorar las zonas de Calacoa, Tutupaca y Challapalca, posiblemente con cooperación técnica internacional. Como resultado, se llegó a un acuerdo de Cooperación Técnica y Económica con el Centro Studi Energia Renzo Tasselli (Cesen) de Italia e implementó un estudio geotérmico superficial incluyendo la perforación de pozos no profundos en las zonas que abarcan el Callejón de Huaylas, Otuzco, La Grama y Cajamarca, en una superficie aproximada de 100.000 Km² entre 1982 a 1986. El estudio concluyó que el área mostraba reservorios de interés de media a baja temperatura. También en 1986, con la ayuda del OIEA, se llevaron a cabo investigaciones geoquímicas en la Región V y encontraron prospectivos recursos en Calacoa y Calientes.

Más tarde, en 1997, CENERGIA, con la ayuda de México, recogió datos de los estudios anteriores e hizo la evaluación de ellos. INGEMMET llevó a cabo una encuesta nacional sobre el inventario de aguas termales. Además, en 2007, JBIC realizó un estudio de detalle de energía geotérmica en las áreas de Calientes y Borateras.

Tal como se describe más arriba, se realizaron algunas provisiones en cuanto a la formación de expertos con la implementación de la serie inicial de los estudios geotérmicos durante los años setenta y ochenta. Desde entonces, tras una larga ausencia de proyectos de energía geotérmica a gran escala, junto con el hecho de que las organizaciones que condujeron los estudios anteriores fueron

reestructuradas, la pericia en esta tecnología no ha sido bien mantenida. Aunque algunos de los ingenieros que participaron en los proyectos anteriores se mantienen activos como consultores, la mayoría de ellos ya son de edad avanzada. Por lo tanto los datos disponibles para el estudio geotérmico no han sido actualizados por mucho tiempo.

Las entidades competentes relacionadas al desarrollo geotérmico en el país son: Viceministerio de Energía, Dirección General de Electricidad, Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos y OSINERGMIN. Distintos de los ahí mencionados, un comité de energía geotérmica (la Comisión Multisectorial de Geotermia) está establecida en el MEM, cuyos miembros se componen de académicos (expertos en ciencias de la tierra) e ingenieros INGEMMET. Sin embargo, ya que el comité asignado representa a una pequeña parte de los expertos en geotermia, su contribución al desarrollo de energía geotérmica es limitada. Por otra parte, pocos expertos técnicos están presentes en la organización no gubernamental en el área de tecnologías de desarrollo de recursos, incluyendo la perforación geotérmica y la tecnología de Plantas de energía geotérmica, asimismo el número de programas de capacitación en esta área es casi nulo.^[9]

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cuánta potencia eléctrica se puede generar mediante una central con ciclo binario para el aprovechamiento de energía geotérmica en la Región Corongo-Ancash, Perú?

1.5. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El siguiente proyecto de investigación de tesis titulado “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”; se orienta y tiene como objetivo desarrollar un estudio sobre las fuentes potenciales de recurso geotérmico en el Perú, debido a que se presenta como recurso de energía renovable, con altas posibilidades de aprovechamiento mediante tecnologías. En la actualidad se cuenta con las regiones de Moquegua, Tacna, Puno entre otros donde se concentran los más importantes yacimientos del recurso geotérmico de Sudamérica, los cuales pueden ser empleados para desarrollar energía eléctrica e impulsar la actividad turística, entre otros rubros.

El Ministerio de Energía y Minas (MEM) dio lineamiento a la exploración y explotación de yacimientos geotérmicos con La Ley Orgánica de Recursos Geotérmicos, Ley N° 26848, que fue

promulgada el 29 de febrero de 1997 ligado a otras leyes que rigen el mercado eléctrico peruano:

- ❖ D.L. N° 28544 Ley de Concesiones Eléctricas
- ❖ D.S. N° 009-93 Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas
- ❖ Ley N° 26734 Ley de Creación del OSINERG
- ❖ Ley N° 26876 Ley Antimonopolio y Antioligopolio.

1.6. HIPÓTESIS GENERAL DE INVESTIGACIÓN

Mediante una central con ciclo binario para el aprovechamiento de energía geotérmica en la Región de Corongo-Ancash, Perú se puede generar una potencia eléctrica de 1 MW

1.7. OBJETIVOS GENERALES

Realizar un 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.

1.8. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Identificar las características del potencial geotérmico en la Región Corongo-Ancash, Perú.
- ❖ Determinar las características y parámetros del fluido secundario de trabajo del ciclo binario para el aprovechamiento de energía geotérmica para generación de potencia eléctrica en la Región Corongo-Ancash, Perú.
- ❖ Determinar la potencia eléctrica generada mediante el ciclo binario para el aprovechamiento de energía geotérmica para generación de potencia eléctrica en la Región Corongo-Ancash, Perú.
- ❖ Realizar una evaluación económica para la rentabilidad de una central con ciclo binario para el aprovechamiento de energía geotérmica para generación de potencia eléctrica en la Región Corongo-Ancash, Perú.

1.9. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

- ❖ En 2007, el Ingeniero Luís Felipe Córdova realizó una tesis titulada “Diseño de una Planta geotérmica de Generación Eléctrica de 50 MW” que mediante un ciclo híbrido Flash – Binary, aprovecha el potencial geotérmico en la región de Borateras – Tacna, obteniendo eficaces resultados con parámetros de flujo másico del fluido secundario isopentano igual 600 Kg/s a 20 bar de presión inicial y temperatura inicial de 220 °C y fluido geotérmico de 894.94 kg/s. Lo que demuestra su gran potencial y alta disponibilidad en la zona.

- ❖ En 2007, el Ing. Alberto Galante Marcos, en España, desarrolló una tesis titulada “Análisis de la Viabilidad Técnica-Económica de una Planta Geotérmica para la Generación de Electricidad en Latinoamérica” en la que propone una sustitución del fluido de trabajo de n-pentano utilizado en la central de ciclo binario Miravalles V por R-245fa, obteniendo un aumento en la eficiencia de la planta de 15.48% a 17.11% manteniendo la potencia constante de 18.3 MW.
- ❖ En 2010, el Ing. Isaías Hernández Carrillo, en México, realizó en su tesis de maestría titulada “Ciclo Binario de Alta Temperatura para Geotermia” un análisis de 138 fluidos de trabajo bajo los criterios de eficiencia, humedad en la turbina, tamaño de la turbina, aspectos ambientales y de salud, para el aprovechamiento de yacimientos geotérmicos de alta temperatura en el rango de 250 a 550°C. Como resultado obtuvo que los fluidos de trabajo más adecuados son: agua (28 MW), tolueno (22.5 MW), benceno (22 MW), ciclo-hexano (20 MW), etanol (20.4 MW), acetona (19 MW), decano (18.2 MW), R147b (17.2 MW), R113 (17.1 MW) y R21 (16 MW).
- ❖ En 2010, el Ing. Osvaldo Enrique Lacourt Mora, en Chile, en su tesis titulada “Análisis de Diversas Alternativas de Generación Eléctrica con Fuentes Geotermiales en Chile”, realizó el análisis de 6 tecnologías de aprovechamiento geotérmico de las cuales 2 son del tipo flash (simple y doble) y 4 del tipo binario (básico, con intercambiador de calor interno, regenerativo con intercambiador de calor interno y doble presión), utilizando para estas últimas 4 fluidos de trabajo (isopentano, isobutano, n-pentano y R114). Como resultado obtuvo que las

centrales de doble flash generan 17% más potencia que las de simple flash a la misma temperatura del fluido geotermal y que las central binaria de doble presión es la que proporciona mayor potencia, siendo el isobutano el que entregaba mejor rendimiento en las centrales de ciclo binario básica, con intercambiador de calor interno y regenerativo con intercambiador de calor interno y el isobutano en el caso de la central de ciclo binario de doble presión.

- ❖ En 2005, los Ing. Manuel González, Ricardo Jiménez y Misael Melgar, en El Salvador, realizaron un “Estudio Técnico y Evaluación Económica para la Implementación de una Planta de Ciclo Binario en el Campo Geotérmico de Berlín, Usulután”, para aprovechar un yacimiento geotérmico de 185°C con un flujo de salmuera de 320 Kg/s utilizando como fluido de trabajo isopentano. Como resultado obtuvo una potencia generada de 7.1 MW, VAN de US\$ 9,773,787.44 y TIR de 33.60% por lo que su proyecto es viable.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. ENERGIAS RENOVABLES

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se cuentan la energía eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, biomasa y los biocombustibles. [11]



*Figura 2.1: Parque Eólico Talara de 30 MW / 17 aerogeneradores
Fuente: MiningPress Edición Perú*



*Figura 2.2: Central Mareomotriz Sihwa Lake (Gyeonggide - Corea del Sur) de 254 MW / 10 turbinas de bulbo sumergidas
Fuente: Fieras de la Ingeniería*



Figura 2.3: Central Solar Repartición de 22 MW (La Joya – Arequipa), es la primera central fotovoltaica de Sudamérica
Fuente: La República

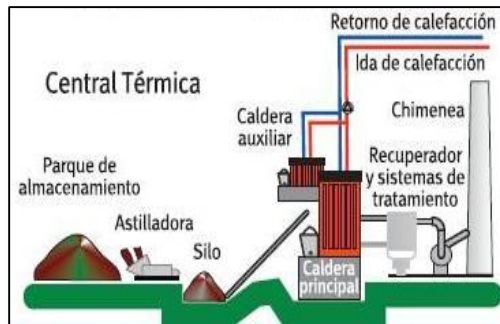


Figura 2.4: Gráfico de la central térmica de una red de calefacción centralizada con biomasa
Fuente: Agencia Provincial de la Energía de Burgos (ABENGUR)



Figura 2.5: Planta Biocarburantes Castilla y León de 200ML de bioetanol al año
Fuente: Abengoa Bioenergía



Figura 2.6: Central Hidroeléctrica Santa Cruz II de 6 MW) / 2 turbinas Francis
Fuente: OSINERGMIN

2.1.1. ENERGÍA GEOTÉRMICA

2.1.1.1. DEFINICION DE GEOTERMIA

En general, la palabra geotermia se refiere a la energía térmica natural existente en el interior de la Tierra.

La geotermia es una importante fuente de energía que caracteriza las zonas activas de la corteza terrestre y está ligada a una fuente de calor magmática, que se encuentra a varios kilómetros de profundidad en tierras volcánicas. La producción de vapor a partir de los acuíferos, está a temperaturas que oscilan entre 100 y 4,000 ° C.

En algunas zonas, los depósitos o corrientes de agua subterránea son calentados por el magma, hasta temperaturas a veces superiores a los 140 grados Celsius. Cuando el agua, o el vapor, emergen a la superficie a través de fisuras en la corteza, aparecen los géiseres, fumarolas y fuentes termales.^[11]

2.1.1.2. ¿QUÉ ES LA ENERGÍA GEOTÉRMICA?

La energía geotérmica es aquella energía que se obtiene mediante la extracción y aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Es por tanto esta energía calorífica, un recurso parcialmente renovable y de elevada disponibilidad.

En la práctica se le denomina así al estudio y utilización de la energía térmica que transportada a través de la roca y/o fluidos, se desplaza desde el interior de la corteza terrestre hacia los niveles superficiales de la misma, dando origen a los sistemas geotérmicos.

Aun cuando la geotermia ha existido siempre, no fue aprovechada sino hasta principios del siglo pasado que empezó a dársele uso en forma comercial, haciéndose notoria su existencia hace apenas cuatro décadas. En los años 70's con el incremento en el costo de los combustibles fósiles se le dio una importancia relevante, ayudando a suministrar parte de los requerimientos de energía de muchos países.

2.1.1.3. ORIGEN DE LOS SISTEMAS GEOTÉRMICOS

El origen de los sistemas geotérmicos está relacionado con el movimiento de las placas oceánicas y continentales, las cuales al chocar o separarse constituyen regiones geológicamente activas en las cuales se presentan los fenómenos de subducción de placas o de debilidad cortical (Fig.2.8). En el primer caso, la colisión e introducción de una placa por debajo de otra produce elevadas temperaturas, formándose magma que puede llegar a la superficie para crear volcanes. En el segundo caso, al existir placas con movimientos divergentes, el magma del manto puede llegar cerca de la superficie originando vulcanismo.

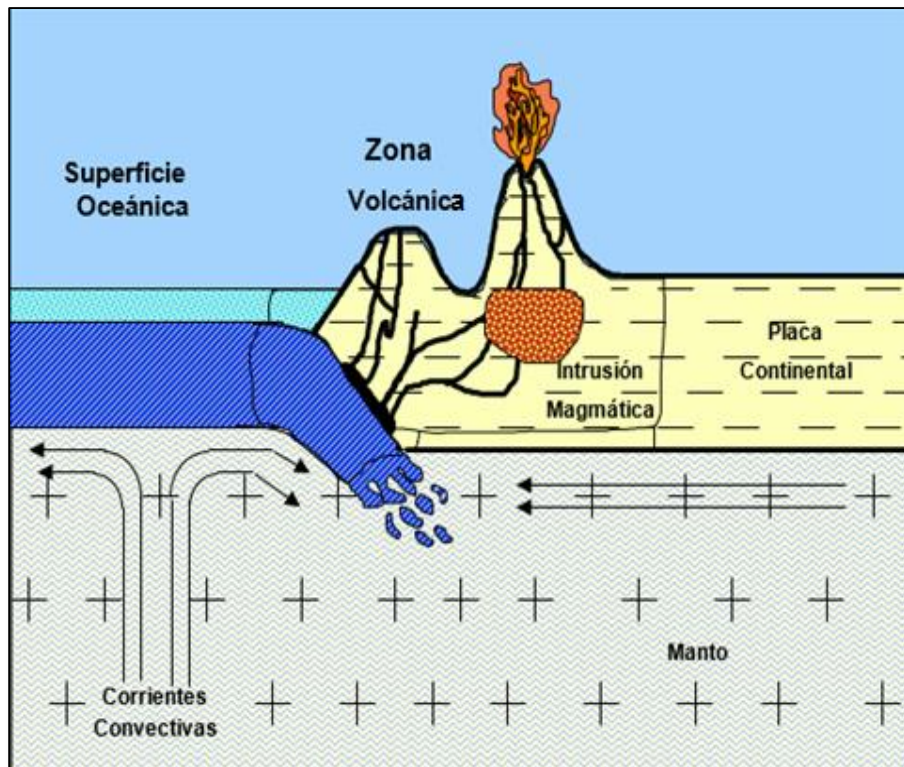


Figura 2.7: Diagrama de las placas oceánicas y continentales.
Fuente: Centro de estudios Geotérmicos UNAM.

El calor requerido para la formación de un sistema geotérmico puede ser proporcionado por una masa de magma de alta temperatura situada en la corteza terrestre ya sea como una intrusión en proceso de enfriamiento o bien como una cámara magmática que ha alimentado a un volcán o a una caldera. Este calor puede almacenarse en la roca o en acuíferos localizados a pocos kilómetros de profundidad dando origen a los sistemas geotérmicos. Estos en algunas ocasiones se manifiestan en la superficie en forma de volcanes de lodo, fumarolas, géiseres, manantiales hidrotermales, suelos calientes, etc. En las zonas en donde interactúan las placas tectónicas, es en donde se han localizado los más importantes campos geotérmicos.

2.1.1.4. TIPOS DE SISTEMAS GEOTÉRMICOS

A la fecha se han identificado cinco tipos de sistemas geotérmicos que se describen por algunas de sus características:

2.1.1.4.1. SISTEMAS HIDROTERMALES

Estos sistemas están constituidos por: una fuente de calor, agua (líquido y/o vapor) y la roca en donde se almacena el fluido (Fig. 2.9). El agua de los sistemas hidrotermales se origina en la superficie de la tierra en forma de lluvia hielo o de nieve. Se infiltra lentamente en la corteza terrestre, a través de poros y fracturas, penetrando a varios kilómetros de profundidad en donde es calentada por la roca alcanzando en algunas ocasiones temperaturas de hasta 400°C. Estos sistemas se clasifican en:

a) Vapor dominante.

Son sistemas de alta entalpía, generalmente de vapor seco. Existen unos cuantos en el mundo. Los más conocidos son The Geysers (Estados Unidos) y Lardarello (Italia).

b) Líquido dominante (alta entalpía)

Sistemas de salmuera súper caliente, con temperaturas entre 200°C y más de 300°C. Son más abundantes que los anteriores. Ejemplo: Cerro Prieto (México), Wairakei (Nueva Zelanda), Tiwi (Filipinas).

c) Líquido Dominante (baja entalpía).

Sistemas con salmueras calientes, con temperaturas entre de 100°C y 200°C aproximadamente. Son más abundantes que los anteriores en una proporción de 10 a 1. Se encuentran en casi todos los países del mundo. Ejemplo: Heber (Estados Unidos), Yangbajin (China).

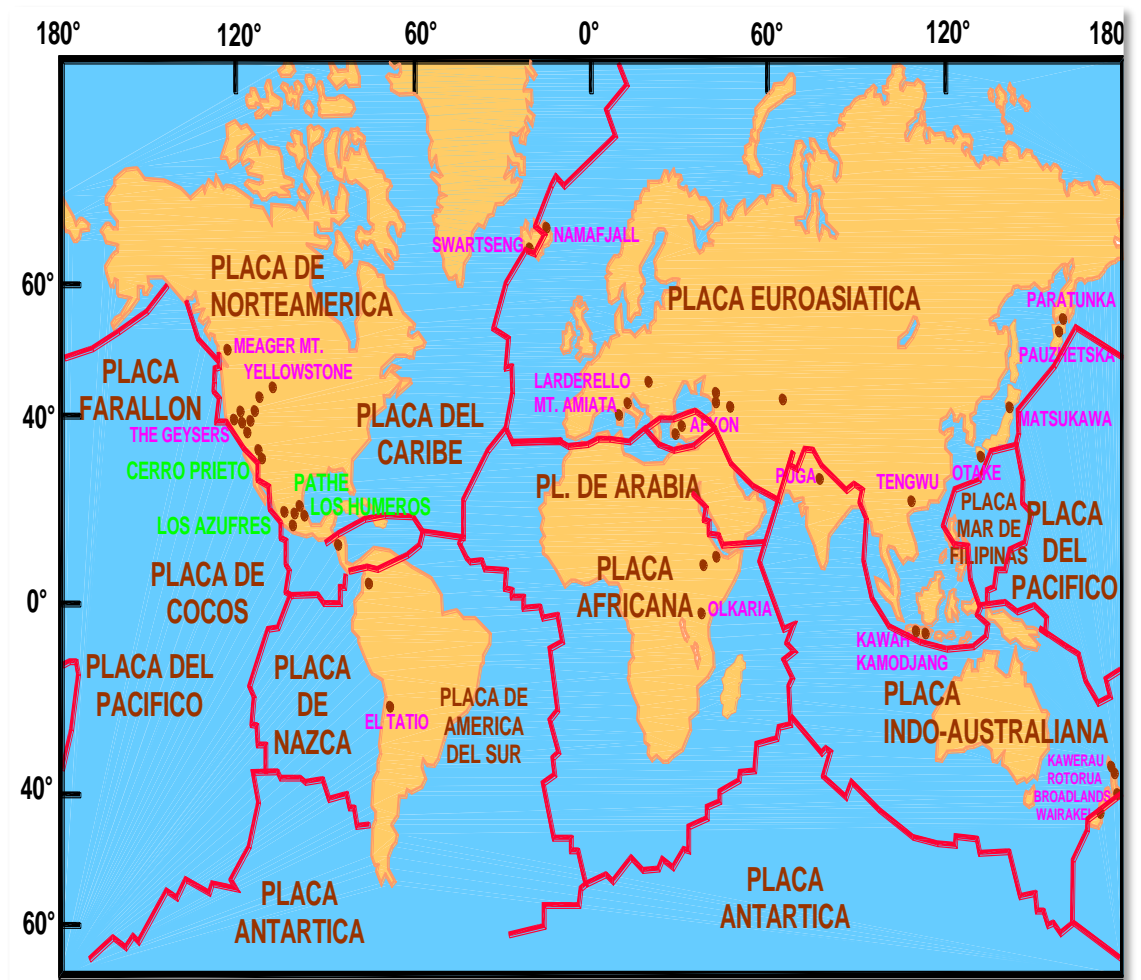


Figura 2.8: Diagrama de las placas oceánicas y continentales.
Fuente: Centro de estudios Geotérmicos UNAM.

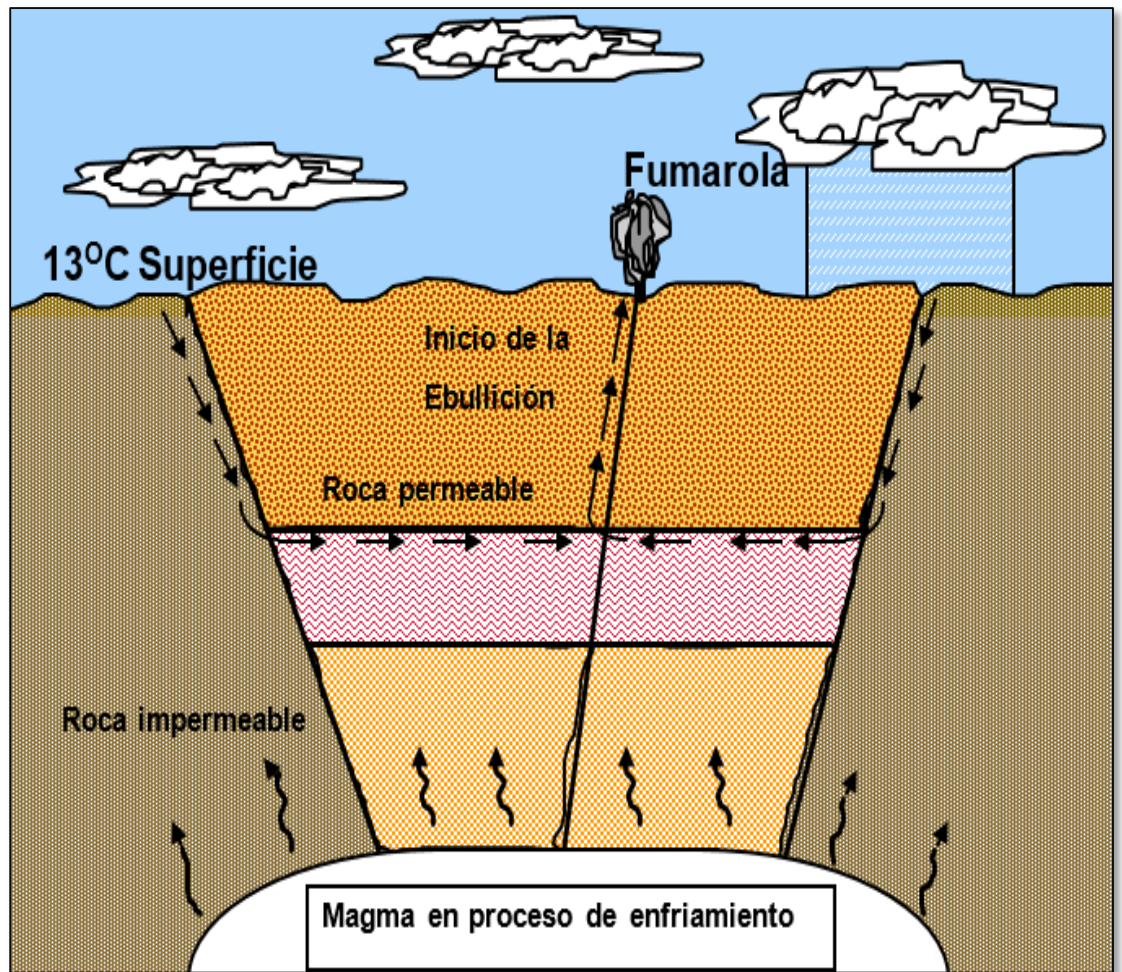


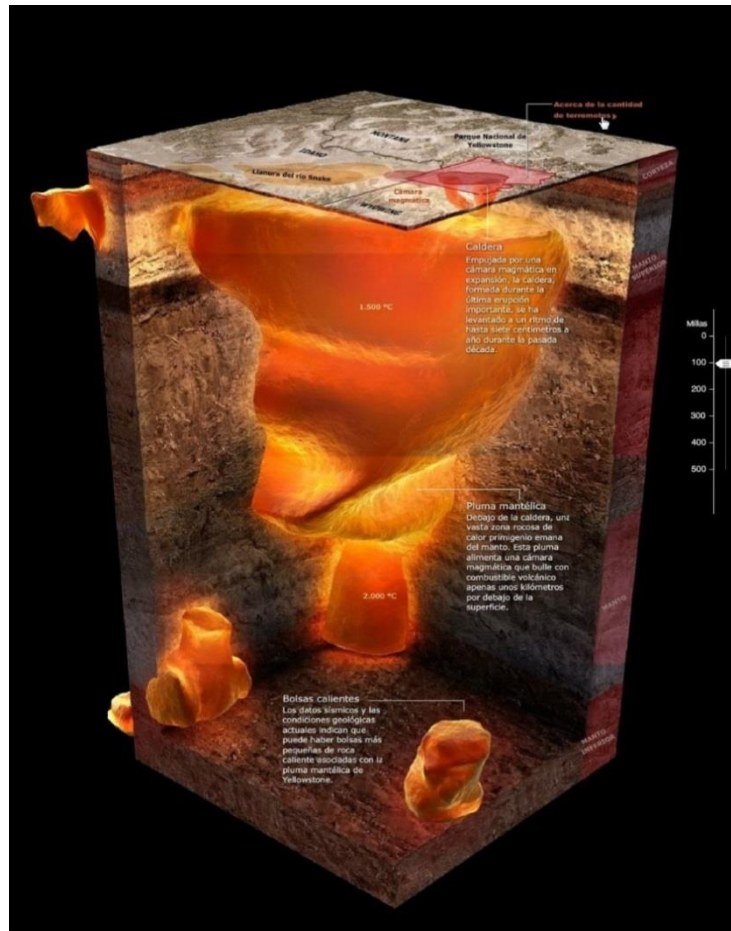
Figura 2.9: Sistemas Hidrotermales.
Fuente: Centro de estudios Geotérmicos UNAM.

2.1.1.4.2. SISTEMAS DE ROCA SECA CALIENTE

Son sistemas rocosos con alto contenido energético pero con poca o ninguna agua, conocidos como HDR por sus siglas en inglés (Hot Dry Rock). No se explotan comercialmente en la actualidad. Ejemplo: Fenton Hill (Estados Unidos), Rosmanowes (Reino Unido), Soultz-sous-Forêts (Francia). Este es probablemente uno de los recursos geotérmicos más abundantes. El U.S. Geological Survey ha estimado que la energía almacenada en los yacimientos de roca seca caliente que se encuentran dentro de los 10 kilómetros superiores de la

corteza terrestre, equivale a más de 500 veces la energía acumulada en todos los yacimientos de gas y de petróleo del mundo, lo que habla de un recurso enorme.

Con el objetivo de explotar estos yacimientos se está desarrollando la tecnología necesaria para implementar el siguiente concepto. Se perfora un pozo hasta la profundidad en que se encuentra la formación de roca seca caliente de interés. Como esta roca es esencialmente impermeable, se crea un yacimiento artificial mediante fracturamiento hidráulico, una técnica muy utilizada por las industrias del gas y del petróleo. Posteriormente se perfora otro pozo, típicamente a algunos cientos de metros del primero, que intercepte la red de fracturas creada artificialmente. A continuación se inyecta agua a presión en uno de los pozos. Al desplazarse por la red de fracturas, el agua se calienta por contacto con la roca de alta temperatura. El agua caliente se extrae por el pozo restante. En la actualidad los proyectos de investigación acerca de HDR más importantes se están llevando a cabo en la Comunidad Económica Europea (e.g., Baria et al., 2000) y en Japón (e.g., Kaieda et al., 2000).



*Figura 2.10: Sistema de Roca Seca Caliente
Fuente: Centro de estudios Geotérmicos UNAM.*

2.1.1.4.3. SISTEMAS GEOPRESURIZADOS

Son sistemas que contienen agua y metano disuelto a alta presión (del orden de 700 bar) y mediana temperatura (aproximadamente 150°C). No se explotan comercialmente en la actualidad. Ejemplo: yacimientos en Texas y Louisiana (Estados Unidos), y en Tamaulipas (México). Estos recursos ofrecen tres tipos de energía: térmica (agua caliente), química (metano) y mecánica (fluidos a muy alta presión). Algunos investigadores han estimado el potencial energético solamente en las costas de Texas en unos 40,000 MW (Alonso, 1993). Se desconoce el potencial de este recurso en México.

2.1.1.4.4. SISTEMAS MARINOS

Son sistemas de alta entalpía existentes en el fondo del mar. No se explotan comercialmente en la actualidad. Estos sistemas han sido poco estudiados hasta ahora. Ejemplo: Golfo de California (México).

Hace algunos años se efectuaron estudios preliminares en el Golfo de California (Mercado, 1990, 1993). Como parte de los estudios se incluyeron algunas inmersiones en un submarino. Esto permitió observar a 2600 metros de profundidad impresionantes chimeneas naturales descargando chorros de agua a 350°C. El flujo de calor medido en algunos puntos del Golfo de California es muy alto, de 0.34 W/m² (Suárez, 2000) mientras que en promedio el flujo natural de calor alcanza valores de entre 0.05 y 0.10 W/m².



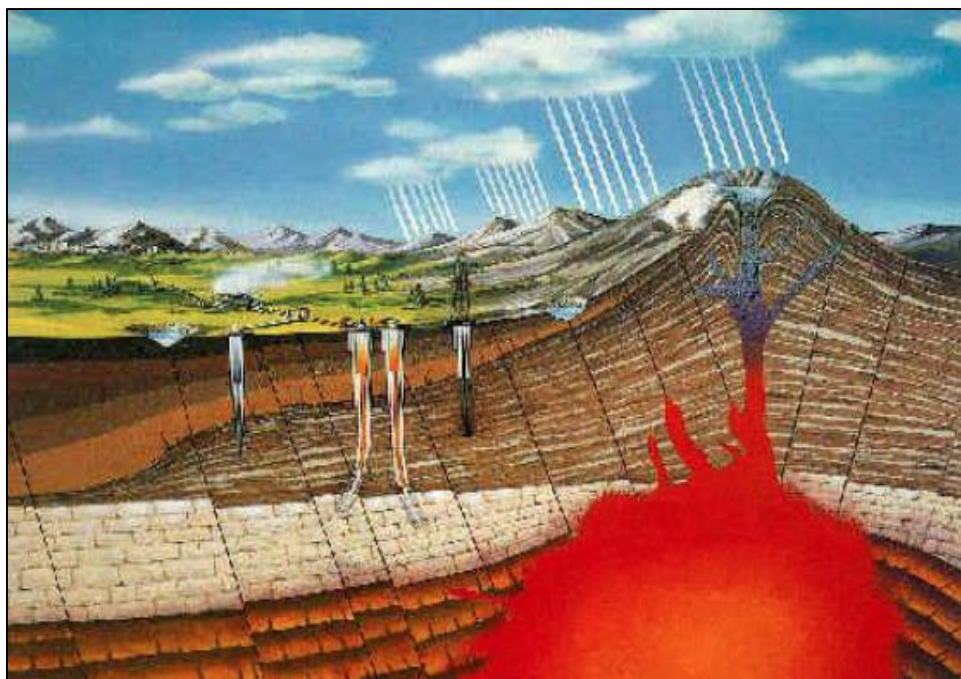
*Figura 2.11: Sistema Geotérmico Marino
Fuente: Centro de estudios Geotérmicos UNAM.*

2.1.1.4.5. SISTEMAS GEOTÉRMICOS VOLCÁNICOS.

Son sistemas de roca fundida existentes en aparatos volcánicos activos o a gran profundidad en zonas de debilidad cortical. No se explotan comercialmente en la actualidad. Ejemplo: Volcán de Colima (México), Volcán Mauna Kea (Hawái).

Posiblemente el atractivo más importante de este tipo de recurso sean las altísimas temperaturas disponibles ($\geq 800^{\circ}\text{C}$). Recordemos que la eficiencia de las máquinas térmicas es proporcional a la temperatura máxima de su ciclo termodinámico.

En el mediano o largo plazo, cuando se cuente con la tecnología y los materiales adecuados para resistir la corrosión y las altas temperaturas se podrá explotar la enorme cantidad de energía almacenada en las cámaras magmáticas de los volcanes activos.



*Figura 2.12: Sistema Geotérmico Volcánico
Fuente: Centro de estudios Geotérmicos UNAM.*

2.1.1.5. TIPOS DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS

Según la **Fundación MAPFRE**, los tipos de yacimientos geotérmicos pueden clasificarse en cuatro usos en función de su temperatura:

2.1.1.5.1. YACIMIENTOS DE MUY BAJA TEMPERATURA (MENOS DE 30°C).

Los yacimientos de muy baja temperatura son aquellos que pueden encontrarse en la práctica totalidad de la superficie continental del planeta, que guardan el calor de los rayos del Sol. Se trata de focos de calor alojados en las capas más superficiales, o en acuíferos poco profundos, y cuya energía se aprovecha para climatización de viviendas individuales y edificios mediante bombas de calor.

Esto es posible gracias a que la temperatura del subsuelo, a partir de una profundidad aproximada de 20 metros, se mantiene constante a lo largo del año, independientemente de las condiciones climatológicas del exterior.

2.1.1.5.2. YACIMIENTOS DE BAJA TEMPERATURA (ENTRE 30°C Y 90°C)

Son yacimientos que suelen encontrarse en cuencas sedimentarias donde el gradiente geotérmico (variación de temperatura que ofrece un material rocoso cuando se avanza desde la superficie hacia el interior) es normal o ligeramente superior al normal (3°C cada 100 metros).

Asimismo, requieren una profundidad de entre 1,500 y 2,500 metros, con presencia de formaciones geológicas que proporcionen permeabilidad al yacimiento, al mismo tiempo que dejen circular los fluidos que extraigan el calor de las rocas hacia el exterior.

Por lo tanto, con un gradiente normal, pueden alcanzarse temperaturas de más de 70°C. Además, existen zonas del planeta donde, debido a la composición química y la edad de las rocas.

2.1.1.5.3. YACIMIENTOS DE MEDIA TEMPERATURA (ENTRE 90°C Y 150°C)

Estos yacimientos se encuentran, al igual que los de baja temperatura, en cuencas sedimentarias, aunque a una profundidad de entre 2,000 y 4,000 metros. Los depósitos están, normalmente, en zonas localizadas que presentan ciertas características, como discontinuidades o fallas, a través de las cuales el agua puede salir a la superficie, incluso con presencia de aguas termales.

2.1.1.5.4. YACIMIENTOS DE ALTA TEMPERATURA (MÁS DE 150°C)

Podemos encontrar este tipo de yacimientos en zonas geográficas donde existen fenómenos geológicos importantes, como actividad volcánica o formación de cordilleras. Suponen una gran liberación de energía desde el interior de la Tierra.

En este caso, los yacimientos cuentan con una fuente de calor magmática a una temperatura de entre 700 y 1,000°C, situados normalmente entre 3,000 y 10,000 metros del exterior. Además, debe existir junto al mismo un acuífero que recoja el calor del magma y lo mueva hacia el exterior, con una capa impermeable que mantenga esa agua atrapado a una presión correcta para su extracción.

2.1.1.6. USOS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

Actualmente los recursos geotérmicos no solamente son susceptibles de ser aprovechados en la generación de electricidad, sino también en una gran variedad de actividades agrupadas bajo el nombre genérico de usos directos. Entre los mismos se pueden mencionar los siguientes: calefacción (Islandia, Estados Unidos, Nueva Zelanda), procesado de alimentos (Estados Unidos y Filipinas), lavado y secado de lana (China y Nueva Zelanda), fermentación (Japón), industria papelera (Australia, China y Nueva Zelanda), producción de ácido sulfúrico (Nueva Zelanda), manufactura de cemento (Islandia y China), teñido de telas (Japón), etc.

2.1.1.6.1. PROCESOS INDUSTRIALES:

Las diferentes formas de utilización de este calor incluye procesos de calefacción, evaporación, secado, esterilización, destilación, lavado, descongelamiento y extracción de sales, etc., aplicado en la industria de producción de papel y reciclado, procesamiento de celulosa, tratamientos textiles, industria alimenticia, pasteurización de leche, extracción de productos químicos, recuperación de productos petrolíferos, extracción de CO₂, bebidas carbonatadas, etc.

2.1.1.6.2. INVERNADEROS

Un empleo muy común de la energía geotérmica de baja temperatura es en agricultura. Las aplicaciones agrícolas de fluidos geotermales son para calefacción a campo abierto e invernaderos. El uso de invernaderos no se limita sólo a cultivos vegetales comestibles sino al cultivo de plantas ornamentales, flores, etc.

2.1.1.6.3. ACUICULTURA

La acuicultura es la técnica controlada de especies acuáticas vegetales y animales que, actualmente, está adquiriendo gran importancia a nivel mundial. El nivel térmico exigido por las piscifactorías permite el aprovechamiento de los yacimientos de baja temperatura y constituye un campo de aplicación muy interesante para el aprovechamiento de aguas geotermales, principalmente en países fríos.

2.1.1.6.4. SECTOR RESIDENCIAL Y SERVICIOS

La demanda térmica de la energía consumida en el sector residencial y de servicios es relativamente baja, lo que permite utilizar agua geotérmica de baja entalpía y devolverla a baja temperatura, incrementando así el potencial geotérmico del recurso e induciendo a un ahorro de energía.

2.1.1.6.5. GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

Los yacimientos geotérmicos de alta temperatura pueden aprovecharse para generar electricidad mediante un ciclo similar al utilizado en las centrales termoeléctricas convencionales. Dependiendo de las características del recurso geotérmico, la generación de electricidad se realiza mediante turbinas de vapor convencionales (Ciclo Rankine) y plantas de ciclo binario. La utilización de los recursos geotérmicos, como fuente de energía primaria para la generación de electricidad, es una de las aplicaciones más importantes, cuando la temperatura del fluido es alta o muy alta. Ahora bien, a medida que disminuye el nivel térmico del recurso aumenta el consumo específico de la central de generación, disminuyendo su rendimiento neto rápidamente.



Figura 2.13: Lindegus – Florida, Industria Cementera
Fuente: International Geothermal Association (IGA)



Figura 2.14: Invernaderos geotérmicos
Fuente: Meteorología en red



Figura 2.15: Criadero piscícola climatizado con agua geotérmica en Imperial Valley, California , EE.UU
Fuente: Geothermal Education Office

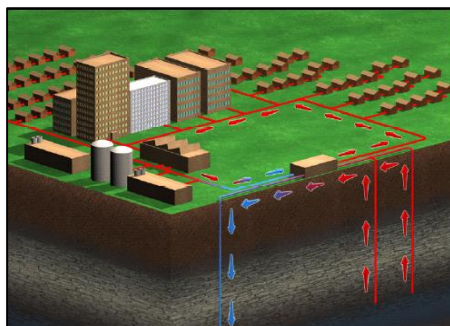


Figura 2.16: Sistema de Calefacción Distrital con Fuentes Geotermiales.
Fuente:International Geothermal Association (IGA)

2.1.1.7. TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA

Existen tres tipos de plantas para generar energía eléctrica procedente de los recursos geotérmicos, en función de las características y naturaleza del fluido geotermal disponible y la profundidad del mismo:

2.1.1.7.1. PLANTAS DE VAPOR SECO - PLANTAS DRY STEAM

Este sistema se utiliza en recursos geotérmicos del tipo vapor dominante, donde el vapor no está prácticamente mezclado con el agua. Se extrae vapor sobrecalentado, típicamente a temperaturas de 180 - 185°C y 0.8 - 0.9 MPa, que alcanza la superficie a alta velocidad. Con objeto de aumentar la eficiencia en la producción de electricidad, se han llegado a explotar recursos con temperaturas superiores a los 300°C. La conexión entre los pozos y la casa de máquinas es la más sencilla de los tres tipos principales de plantas. En la cabeza de los pozos se instalan válvulas y purificadores de vapor, que consisten simplemente en separadores centrífugos que se encargan de eliminar las partículas sólidas que pueda haber en el vapor, antes de que éste se introduzca en el sistema de tuberías de distribución. A lo largo de estas tuberías se sitúan estratégicamente una serie de trampillas con el fin de extraer el vapor condensado. Este condensado es transportado por una red de alcantarillados hasta las lagunas de tratamiento y finalmente a los pozos de reinyección en frío.

Por lo general estos pozos se ubican en un sector del yacimiento, donde el líquido frío que se reinyecta no altere la temperatura del resto del campo geotérmico.

Cerca de la casa de máquinas se instala un sistema de evacuación de emergencia, de manera que en caso de que la turbina falle, se pueda liberar el vapor y la presión no aumente de forma desproporcionada. Es frecuente que el vapor sea conducido a través de un silenciador antes de entrar en la estancia. En la casa de máquinas se extrae de nuevo el vapor condensado que pueda haber y el vapor pasa a través de la turbina, donde se expande haciendo rotar las palas y el eje que mueve un generador eléctrico.

En la versión más sencilla de éste tipo de plantas, el vapor que sale de la turbina a baja presión es descargado directamente en la atmósfera. Pero en las centrales de condensación, de uso más extendido, el vapor de escape se condensa al salir de la turbina y el calor extraído al vapor es evacuado mediante torres de enfriamiento. De esta manera se consiguen saltos de presión y temperatura mayores en la turbina, con lo que se aumenta la eficiencia de generación. Además, se evitan los problemas ambientales asociados con la descarga directa de vapor en la atmósfera, pues el líquido condensado se puede reinyectar en el campo por medio de los pozos de reinyección.

La eficiencia y la rentabilidad de las plantas de vapor seco están afectadas por la presencia de gases no condensables tales como dióxido de carbono y ácido sulfúrico.

La presión de estos gases reduce la eficiencia de las turbinas, que a pesar de utilizar vapor sobrecalentado a altas temperaturas, no suele tomar valores superiores a 30%.

Además, los gases no condensables tienen otro impacto económico por razones medioambientales, pues deben ser eliminados del agua residual o reinyectados en el suelo para evitar contaminar.^[13]

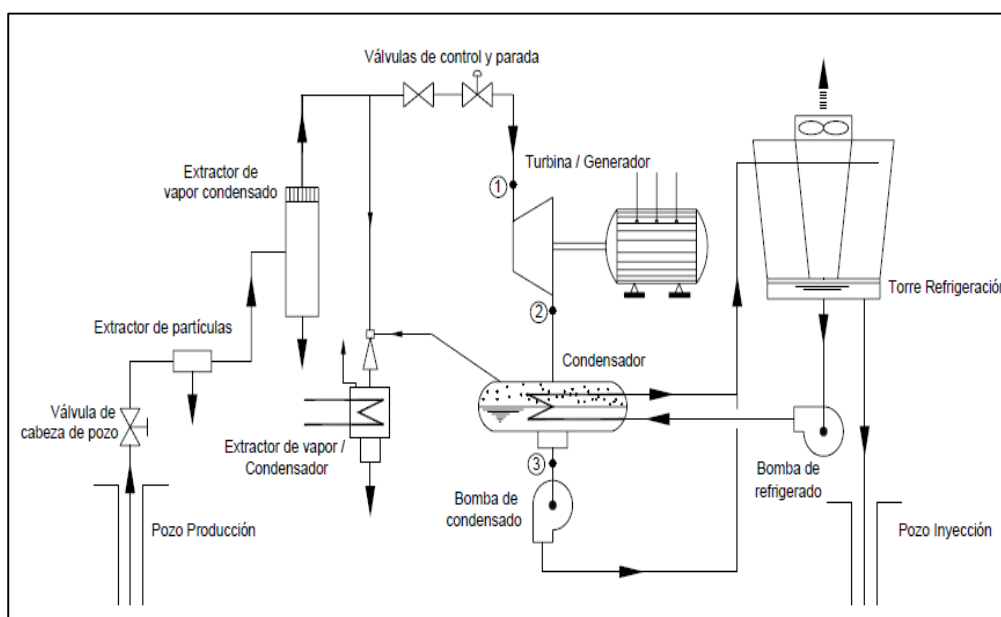


Figura 2.17. Esquema simplificado de una planta de vapor seco
Fuente: Alberto Galante Marcos - UPC

2.1.1.7.2. PLANTA SEPARADOR DE VAPOR - PLANTAS FLASH

Este sistema se utiliza en recursos geotérmicos del tipo líquido dominante, que son los de mayor distribución en el mundo.

Una vez comprobada la existencia del campo geotérmico, se procede a perforar el pozo productor, hasta llegar a una de las fracturas del yacimiento. De estos pozos productores se extrae el fluido bifásico (líquido caliente y vapor) proveniente del yacimiento o reservorio

geotérmico, el cual se transporta a través de una tubería superficial especial llamada vaporducto.

Existen tres tipos de tuberías superficiales: una que transporta la mezcla del líquido y vapor del pozo productor al separador ciclónico, otra que lleva el líquido geotérmico desde el separador ciclónico hasta el pozo de reinyección en caliente y la última que lleva el vapor seco desde el separador hasta la turbina en la casa de máquinas. En todos los casos se trata de tuberías de acero suficientemente gruesas para obtener garantía de que no va tener problemas de dispersión de calor. Además, sobre la tubería se coloca una capa de un aislante térmico, normalmente fibra de vidrio. Este aislante tiene como función impedir que el metal de la tubería irradie en la atmósfera una parte del calor que transita en el interior. Sobre el aislante térmico se coloca una lámina muy delgada de aluminio para evitar que el aislante térmico se humedezca con las lluvias y se desgarre o se deteriore.

Por tanto, lo primero que se hace con la mezcla bifásica extraída es transportarla por medio de los vaporductos hasta un separador ciclónico. Estos separadores, de forma cilíndrica y normalmente orientados con el eje en posición vertical, se encargan de separar la mezcla bifásica en las fases diferenciadas de líquido y vapor debido a la gran diferencia de densidad entre ambas fases, con una pérdida mínima de presión. El emplazamiento de los separadores es parte del diseño de la planta, y pueden estar localizados en la casa de máquinas, en puestos satélites en el campo o en las cabezas de los pozos.

La mayor parte del fluido que entra en el separador ciclónico queda como líquido residual en el tanque. Si dicho líquido no tiene una temperatura elevada, se reinyecta en el campo geotérmico ó se utiliza para usos directos del calor, tales como invernaderos o calefacción. Estos sistemas reciben el nombre de Single-Flash Steam.

Atendiendo al número de plantas existentes y al elevado porcentaje que éstas suponen en cuanto al total de energía geotérmica instalada en el mundo, se puede afirmar que las plantas de tipo single-flash son el pilar principal de la industria de la energía geotérmica.

Sin embargo, si el fluido está lo suficientemente caliente, puede someterse de nuevo a un proceso de separación, consiguiendo así más vapor aunque a menor presión que el vapor obtenido en primera instancia. Este vapor, junto con la descarga desde la turbina principal, se usa para mover una segunda turbina o la segunda etapa de la turbina principal y generar así electricidad adicional. De esta manera se consigue aumentar la potencia de salida en un 15-25%, y aunque se incrementa el coste de la planta y su mantenimiento, la potencia extra obtenida puede justificar la instalación de estas plantas, que se conocen como plantas “doble flash”. Estas plantas son ideales cuando los niveles de impureza son mínimos, y por tanto también lo son los problemas asociados con los depósitos en las tuberías y los gases no condensables que afectan la rentabilidad.

Desde los separadores ciclónicos, el líquido es reinyectado de nuevo al yacimiento en otra ubicación, por medio de pozos de reinyección. Este tipo de reinyección se utiliza para evitar la contaminación del ambiente, y a la vez, prolongar la vida útil del recurso geotérmico.

Por su parte, el vapor es conducido hasta la casa de máquinas. En la casa de máquinas el vapor entra en la turbina. La energía que proviene del movimiento del vapor, se transforma en las turbinas en energía mecánica y luego en el generador, en energía eléctrica. El vapor después de pasar por las turbinas se denomina vapor exhausto. Este vapor exhausto se lleva luego hasta el condensador en donde se realiza el cambio de la fase gaseosa a la fase líquida. Para esto el condensador es rociado internamente por agua que viene de la torre de enfriamiento. El líquido obtenido es un fluido aún caliente, el cual se envía a las torres de refrigeración por medio de bombas.

El vapor exhausto que sale de la turbina, trae cierto porcentaje de gases no condensables que cuando se enfrían con agua, siguen siendo gaseosos y no pasan al estado líquido. Este vapor no condensable, se acumula en la parte superior del condensador; desde donde se evacua por medio de tuberías, hacia la parte superior de la torre de enfriamiento. Estos gases se deben eliminar porque el condensador trabaja a una presión menor que la turbina y debe mantenerse al vacío. De lo contrario, si se mantiene ese vapor en el condensador, se perdería el vacío, y como no podría llegar más vapor proveniente de la turbina, la generación se detendría. ^[13]

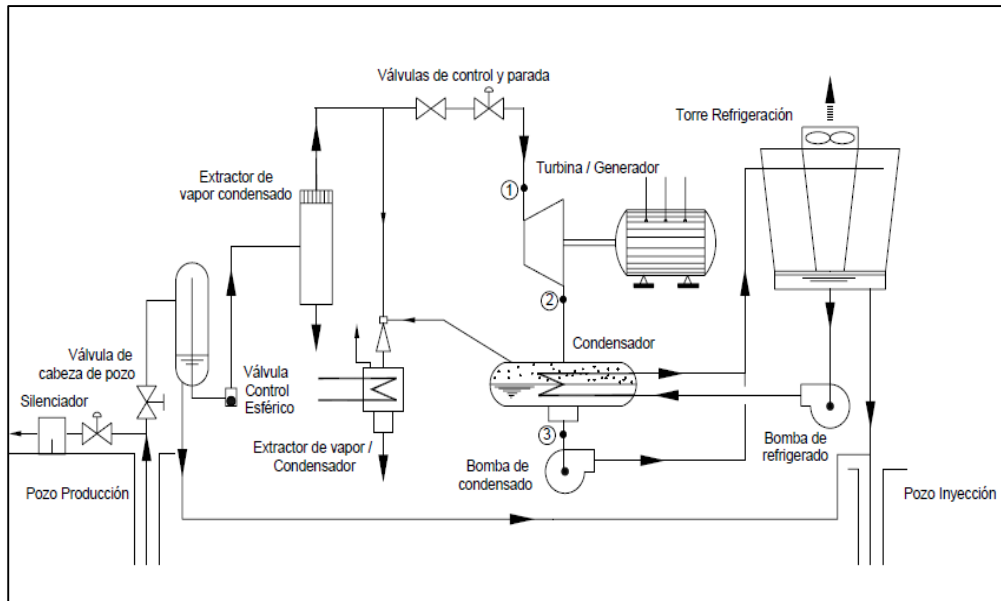


Figura 2.18: Esquema simplificado de una central con separador de vapor
Fuente: Alberto Galante Marcos - UPC

2.1.1.7.3. PLANTAS DE CICLO BINARIO – BINARY CYCLE PLANT

Las centrales geotérmicas de ciclo binario para la generación de electricidad son de aplicación cuando se tienen recursos geotérmicos de media entalpía, entre 100 y 200°C.

Este tipo de centrales tienen un principio termodinámico de funcionamiento similar a las centrales convencionales de combustible fósil o nuclear, en las que el fluido de trabajo circula por un circuito cerrado. Las centrales de ciclo binario trabajan con un fluido secundario con un punto de ebullición menor al del agua y de diferentes propiedades termodinámicas. Dicho fluido de trabajo recibe calor del fluido geotérmico en un intercambiador y es vaporizado y utilizado para mover la turbina. Al salir de la turbina es condensado y reutilizado en un circuito cerrado.

La primera central geotérmica de ciclo binario para generar electricidad empezó a operar en 1967, en la península rusa de Kamchatka. Se trataba de una planta de 670 KW que proporcionó electricidad y calor a una aldea y granjas cercanas.

Hoy en día las centrales de ciclo binario son el tipo de planta geotérmica más utilizada para generar electricidad. En Julio de 2004 había 155 unidades en operación, generando 274 MW de electricidad en 16 países. Sin embargo, a pesar de constituir el 33% de todas las unidades geotérmicas en operación en el mundo, las plantas de ciclo binario generan solamente el 3% de la energía eléctrica total. Recientemente se han añadido plantas binarias a centrales del tipo vaporización súbita, de forma que se pueda aprovechar el calor de la salmuera de desecho antes de reinyectarla de nuevo al reservorio geotérmico.

Cuando la temperatura del fluido geotérmico es de 150°C o menos, resulta difícil (aunque no imposible) construir una planta de vaporización súbita que pueda funcionar de forma eficiente y económica. Y cuanto menor es la temperatura del recurso, mayores las dificultades para implantar dicha tecnología. De hecho, a temperaturas tan bajas es improbable que los pozos fluyan de manera espontánea, y en caso de que lo hagan, existe mucha probabilidad de que se produzca depósito de calcita en los mismos.

Una forma de evitar el problema asociado al depósito de calcita es producir el fluido geotérmico como líquido presurizado, utilizando bombas en el interior de los pozos. El fluido geotérmico se pasa como líquido comprimido a través de intercambiadores de calor y se

desecha por medio de pozos de inyección aún en fase líquida. Otra ventaja de estos sistemas de generación de electricidad respecto a las centrales de vaporización súbita, además de permitir explotar recursos de baja entalpía con mejores eficiencias, es que hacen posible utilizar fluidos geotérmicos impuros químicamente.

Sin embargo, también presentan inconvenientes que en ocasiones harán inviable su utilización. Los principales son los elevados costes de la instalación y mantenimiento.

Teniendo en cuenta que la energía geotérmica muchas veces es de aplicación en países que no cuentan con una tecnología demasiado desarrollada o capacidad para invertir una elevada suma de capital, estas dificultades impiden que el uso de las centrales de ciclo binario sea aún más extendido. [13]

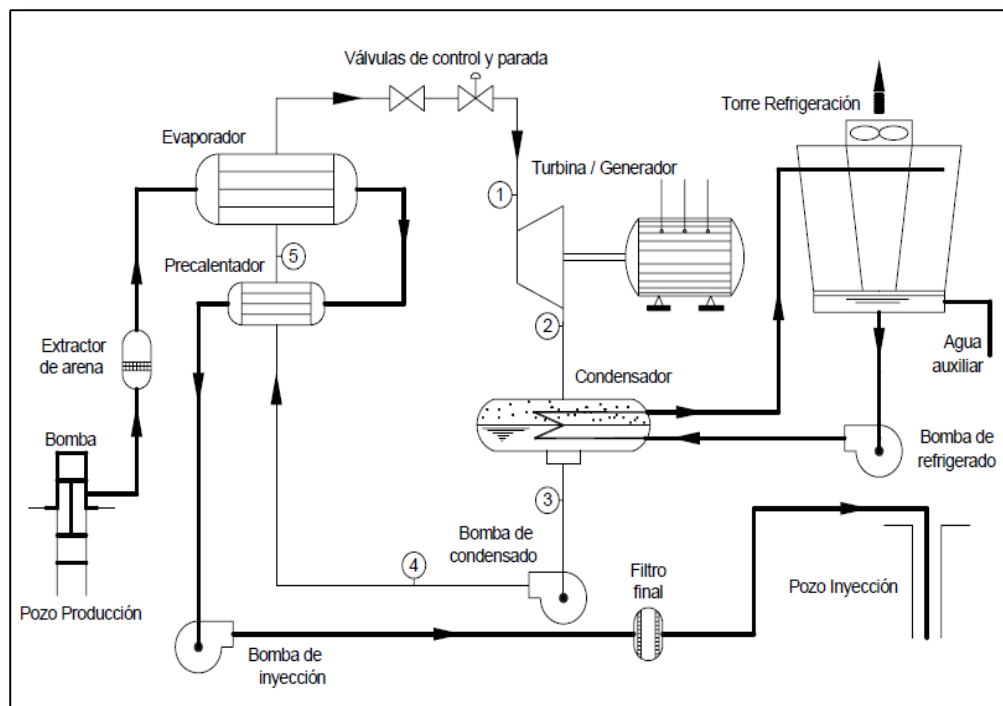


Figura 2.19: Esquema simplificado de una central geotérmica de ciclo binario
Fuente: Alberto Galante Marcos - UPC

2.1.1.7.4. PLANTAS COMBINADAS O HÍBRIDAS

Como se ha mencionado los fluidos geotérmicos tienen un amplio rango de propiedades físicas tales como temperatura, presión, presencia de gases no condensables, sólidos disueltos , pH, potencial de corrosión, por tal razón una gran variedad de sistemas de conversión de energía han sido desarrollados para adaptarse a estas condiciones particulares. Los sistemas descritos anteriormente pueden ser combinados para lograr sistemas mucho más efectivos, en consecuencia se pueden diseñar los siguientes tipos de plantas híbridas.^[13]

- a) Plantas direct-steam/ Binary
- b) Plantas single flash/ Binary
- c) Planta integrada Single y Doble Flash

2.1.1.8. CENTRALES GEOTÉRMICAS EN EL MUNDO

Tabla 2.1. GENERACIÓN GEOTERMOELÉCTRICA EN EL MUNDO

PAISES	INSTALADO EN 2010 (MWe)	GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD TOTAL DEL PAÍS (GWh)	GENERACIÓN GEOTÉRMICA (GWh)
EE.UU	3 093	4 369 099	17 014
Filipinas	1 904	60 821	10 723
Indonesia	1 197	149 437	8 297
México	958	258 913	7 056
Italia	843	319 130	5 520
Nueva Zelanda	628	43 775	4 200
Islandia	575	16 468	4 038
Japón	536	1 082 014	2 752
El Salvador	204	5 960	1 519
Kenia	167	7 055	1 180
Costa Rica	166	9 475	1 131

Fuente: Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP)

2.1.1.8.1. REGIONES GEOTERMALES DEL PERÚ

Víctor Vargas Rodríguez (Responsable del proyecto de Recursos Geotérmicos 2006 – 2011) actualizó el mapa de Regiones Geotermales del Perú utilizando los mapas geotérmicos realizados por Cossio & Vargas (1979), el Mapa Geológico (INGEMMET 1999), el Mapa de Inventario de Fuentes Termales del Perú (INGEMMET, actualizado al 2003), el Mapa de Volcanes del Sur del Perú (Fidel, Morche & Núñez, 1997). Con todos estos elementos se redefinió los límites de las 6 Regiones Geotermales, así como la subdivisión de estas en Lotes y Áreas Geotérmicas, teniendo tres lotes en la Región 1 y 2, y cuatro en la Región 5, y dentro de esta se han definido 13 áreas; todas estas de variado interés geotérmico.

El principal componente para la actualización del Mapa Geotérmico es la ubicación de las manifestaciones geotermales, distribuidas a lo largo de todo el territorio nacional. En la última actualización se tienen más de 400 (INGEMMET, 2003). Así mismo, éstas están controladas por estructuras y formaciones geológicas las cuales determinan su dinámica (forma de recarga, almacenamiento y descarga hacia la superficie). Las manifestaciones ubicadas en la parte centro y norte del país (regiones 1, 2, 3 y 4), tienen un origen meteórico, donde la elevada temperatura que presentan se debe a la acción del gradiente geotérmico. Mientras que las fuentes ubicadas en las regiones 5 y 6 presentan origen volcánico y en algunos casos mixtos (acción del agua meteórica influenciada por una fuente de calor).

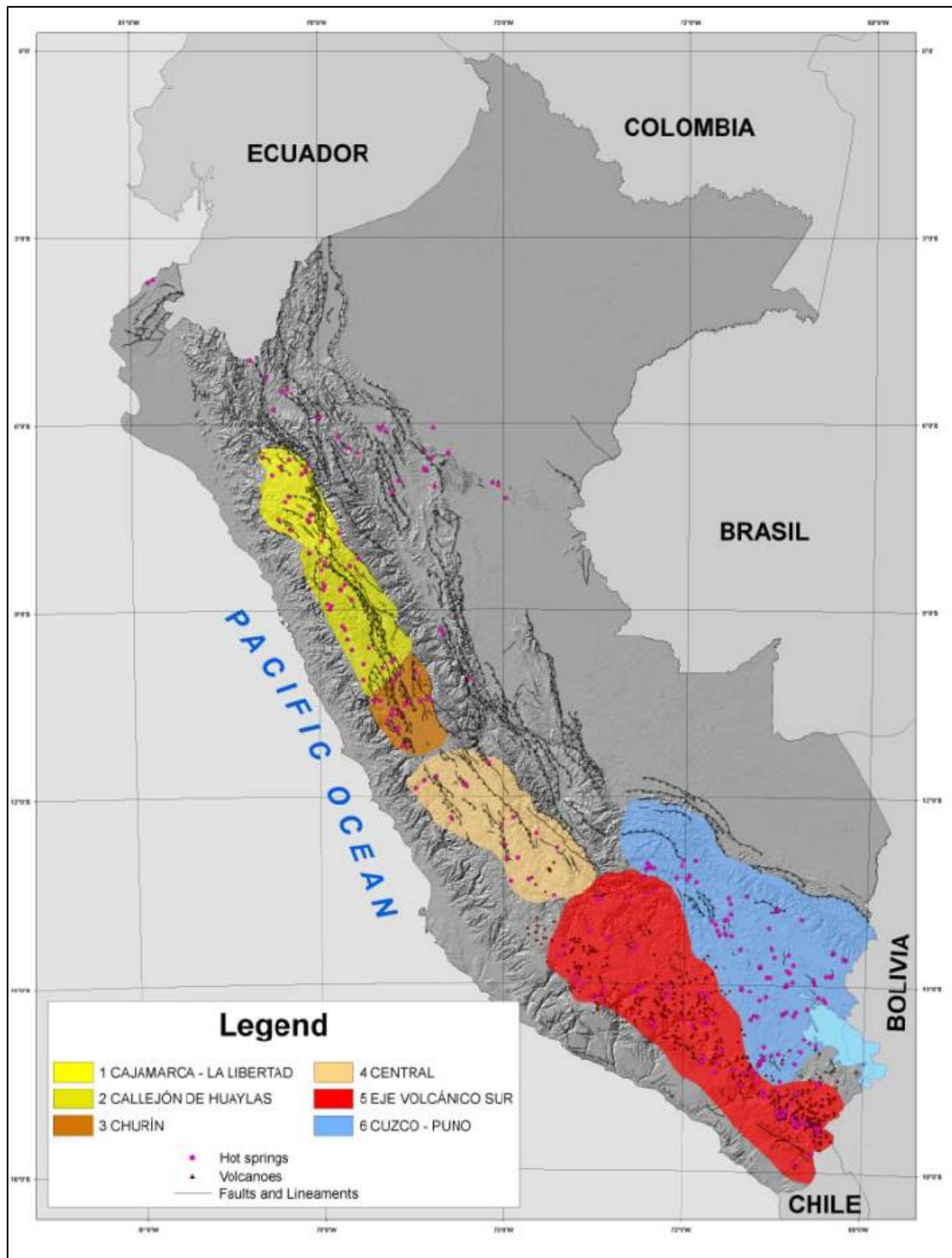


Figura 2.26: Mapa de Regiones Geotermiales del Perú
 Fuente: INGEMET – Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

2.1.1.8.2. REGIÓN 1: CAJAMARCA -LA LIBERTAD

Con un área aproximada de 17,668 Km², se ubica en la parte sur del departamento de Cajamarca y la sierra norte de La Libertad. Se han inventariado alrededor de 20 manifestaciones geotermales a partir de las cuales se han definido 3 Lotes Geotérmicos. Cajamarca, La Grama y Otuzco.

Esta región carece de vulcanismo reciente y se interpreta que las manifestaciones geotermales están vinculadas a fallas profundas regionales, donde el agua eleva su temperatura por acción del gradiente geotérmico. Las temperaturas varían entre los 28° y 72°C, los valores de conductividad eléctrica entre 100 y 4900 µS/cm. y el pH entre 6,9 y 8,1. Los caudales máximos registrados superan los 100L/s (grupo de fuentes La Grama). Algunas manifestaciones como los Baños del Inca presentan emisiones de gases como el H₂S y CO₂. La clasificación hidrogeoquímica muestra una predominancia de aguas bicarbonatadas, y en algunas cosas cloruradas y sulfatadas. [5]

2.1.1.8.3. REGIÓN 2: CALLEJÓN DE HUAYLAS

Con un área aproximada de 27057 Km², abarca la sierra sur del departamento de La Libertad, toda la sierra de Ancash y Huánuco. Se inventariaron más 30 manifestaciones geotermales definiéndose 3 Lotes Geotérmicos: Huaraz, Caraz y Corongo (ver Fig. 2.28). Esta región carece de vulcanismo activo, donde las manifestaciones están asociadas a procesos de circulación profunda, a través de fallas,

donde la elevada temperatura se debe al gradiente geotérmico de la zona.

Las temperaturas varían en rangos desde 16°C hasta 60°C, la conductividad eléctrica entre 100 y valores mayores a 20000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. y el pH entre 3,2 y 9 donde la mayoría de las aguas son ácidas. Los caudales máximos registrados superan los 15L/s. Algunas manifestaciones presentan emisiones de gases como el H_2S y CO_2 ; así mismo se tiene la presencia de una manifestación de vapor denominada Tauripampa (Huánuco). Las aguas bicarbonatadas son predominantes en la región, así como algunas sulfatadas, sódicas y cloruradas.^[5]

2.1.1.8.4. REGIÓN 3: CHURÍN

Esta región comprende un área aproximada de 15392 Km^2 y está ubicada entre los departamentos de Lima, Huánuco, Pasco y Junín. No presenta en la actualidad Lotes o Áreas Geotérmicas. Se han inventariado alrededor de 30 manifestaciones geotermales.

La elevada temperatura de las manifestaciones es un indicador de su recorrido y circulación en profundidad, ya que por medio del gradiente geotérmico aumentan su temperatura.

Los rangos de temperaturas varían entre los 10°C y los 73°C, la conductividad eléctrica varía entre 300 y 3900 $\mu\text{S}/\text{cm}$. y el pH entre 4,6 y 8,2 con predominancia de aguas ácidas. Los caudales máximos registrados superan los 5 L/s, en el año 2006 aforos realizados por

INGEMMET y AQUATEST, en el sector de surgencia La Meseta se tienen caudales de hasta 20 L/s. En algunas manifestaciones se tiene la presencia de gases como el H₂S y CO₂, las familias de aguas predominantes son sulfatadas, bicarbonatadas y cloruradas. En esta región no se tienen registradas exploraciones geotérmicas.^[5]

2.1.1.8.5. REGIÓN 4: CENTRAL

Con un área de 45,858 Km², la Región Central se ubica entre los departamentos de Junín, Lima, Huancavelica y Ayacucho. En ésta no se han identificado zonas de interés geotérmico como Lotes o Áreas, llegando a inventariar más de 20 manifestaciones geotermales.

La elevada temperatura de las manifestaciones se debe a la acción del gradiente geotérmico debido a la circulación de éstas a través de fallas profundas. La temperatura de las manifestaciones varían entre los 17°C y 55°C, la conductividad eléctrica varía desde 400 y 9700 µS/cm, y el pH entre 5.9 y 7.92. Los caudales máximos registrados llegan hasta los 25 L/s. Algunas manifestaciones emiten H₂S y CO₂. Las familias de aguas predominantes son bicarbonatadas y cloruradas. En esta región aún no se tienen registradas exploraciones geotérmicas.^[5]

2.1.1.8.6. REGIÓN 5: EJE VOLCÁNICO SUR

Considerada como la más importante de todas, tiene una extensión aproximada 104,498Km², comprende parte de los departamentos de Ayacucho, Apurímac, Cuzco, Arequipa, Moquegua y Tacna. En esta región INGEMMET, OLADE y IIE han realizado estudios de reconocimiento geotérmico, donde se han definido lotes y áreas. En la región se tiene registrada la presencia de más de 300 volcanes, destacando por su actividad reciente el Misti, Ubinas, Ticsani, Sabancaya, Huaynaputina, Tutupaca y Yucamane. La región está afectada por diversos procesos tectónicos evidenciándose lineamientos estructurales y fallas regionales, principalmente de rumbo NW-SE. Las manifestaciones geotermales están completamente controladas por éstas estructuras, condicionando su recarga, circulación y descarga. Las altas temperaturas registradas en las manifestaciones (mayores que en las otras regiones) se deben principalmente a que existen fuentes de calor, pueda ser cámaras magmáticas, que están en contacto con acuíferos. Así mismo muchas de las fuentes termales en esta región tiene un origen juvenil (sea magmático o volcánico). Se tienen temperaturas que van desde 10° hasta 90°C, la conductividad varían entre 300 y 12,500 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$, y el pH entre 1 y 9 (con un 95% de aguas ácidas). Los caudales máximos superan los 5 L/s. La mayoría emiten gases como H₂S y CO₂. Las familias de aguas predominantes son del tipo bicarbonatadas, cloruradas, sulfatadas. [5]

En esta región se han realizado más investigaciones geotérmicas, estudiando sus principales características geológicas, estructurales y geoquímicas; logrando distinguir 2 grupos de interés geotérmico, siendo^[5]:

- Grupo A: Prioritario de interés geotérmico: Tutupaca. Rio Maure, Calacoa, Salinas, Chachani y Chivay.
- Grupo B: Intermedio de interés geotérmico: Puquio, Parinacochas y Orcopampa.

2.1.1.8.7. REGIÓN 6: CUZCO - PUNO

Esta región abarca un área de 100,721Km², y está ubicada en los departamentos de Cuzco, Puno y parte de Madre de Dios. En la región no se han identificado zonas de interés geotérmico pero se ha llegado a inventariar más de 115 manifestaciones geotermiales.

Las diferentes temperaturas de las manifestaciones geotermiales sugieren diferentes procesos. En algunos las aguas que se infiltran tienen un corto recorrido para luego encontrarse cerca de una fuente de calor la cual hace que su temperatura se eleve. Así mismo otras sólo presentan un corto recorrido y su temperatura no es tan elevada, debido a la acción del gradiente geotérmico. La temperatura de las manifestaciones van desde 8° hasta los 88°C, la conductividad eléctrica varía desde 100 y 20000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y el pH entre 4,5 y 9,8. Los caudales máximos registrados superan los 20 L/s. Algunas

manifestaciones emiten gases como H₂S y CO₂. Geoquímicamente las aguas se clasifican como bicarbonatadas y cloruradas. En esta región aún no se tienen registradas exploraciones geotérmicas.^[5]

2.1.1.8.8. REGION 2: FUENTES TERMALES Y MINERALES EN ÁNCASH

Dentro del departamento de Ancash se encuentran las siguientes fuentes termales: Tablachaca, Cochaconchucos, Huandoval, Aticara, Pacatqui, Aquilina, La Pampa, Rúpac, Andaymayo, Chihuán, Pomabamba, Villa Fátima, El Pato, Baños Hancarhuás, Shangol, Hualcán y La Merced.^[2]

A. Características de las fuentes y sus precipitaciones

La fuente Tablachaca está ubicada en la margen izquierda del río del mismo nombre, próximo a los pueblos de Pallasca y Mollepata, al lado de la carretera Pallasca – Santiago de Chuco. Sus aguas surgen en forma de manantiales en la formación Chicama y pertenecen a la familia de las sulfatadas con contenidos de 575 mg/L de SO₄, temperatura de 50°C y pH ácido (5.7). de acuerdo a la geotermometría aplicada a estas aguas se obtuvo 55°C.^[2]

La fuente Cochaconchucos se halla en las afueras del pueblo del mismo nombre, sus aguas surgen en forma de manantiales en el Grupo Goyllarisquizga y fluyen hacia la margen derecha del río Andamarca; pertenecen a la familia de las bicarbonatadas con contenidos de 280.7 mg/L de HCO₃, temperatura de 38°C y pH

ligeramente alcalino (8.0). En sus alrededores se observan colinas de sínter de carbonato.^[2]

La fuente Huandoval se ubica en la margen izquierda de la quebrada Paccha, cerca del poblado de Huandoval. Sus aguas surgen en forma de manantial en la Formación Chicama en contacto con un intrusivo granodiorito terciario, pertenecen a la familia de las sulfatadas con contenidos de 30.1 mg/L de SO₄, temperatura de 35°C y pH alcalino (9.7).^[2]

La fuente de Aticara se encuentra en la margen derecha de la quebrada Aticara, cerca del poblado del mismo nombre y aproximadamente a 10 Km de Corongo. Sus aguas emergen de la formación Chicama y pertenecen a la familia de las bicarbonatadas con contenidos de 17.4 mg/L de HCO₃, de temperatura de 37°C y pH alcalino (9.5).^[2]

Las fuentes Pacatqui y Aquilina se encuentran muy próximas entre sí, cerca del poblado de Carhuac al lado de la carretera La Pampa – Corongo; ambas surgen a través de un intrusivo terciario, fluyen hacia la margen izquierda del río Manta y pertenecen a las familia de las cloruradas. La primera contiene 395 mg/L de Cl, temperatura de 89°C y pH neutro (7.1); la segunda 275 – 314 mg/L de Cl, temperatura de 66°C a 77°C y pH ligeramente neutro (5.7 – 6.9). en los alrededores de ambas fuentes se observa sínter de carbonato.^[2]

La fuente La Pampa se halla en la margen izquierda de la quebrada Agua Salada, cerca del poblado del mismo nombre y al

lado de la carretera Tres Cruces – La Pampa. Sus aguas surgen en la Formación Oyón y pertenecen a la familia de las sulfatadas con contenidos de 12 646 mg/L de SO₄, temperatura de 25°C y pH altamente ácido (3.2) Presenta sínter de sulfato.^[2]

La fuente Rúpac está ubicada en la margen izquierda del río sihuas, cerca del poblado del mismo nombre y al lado de la carretera Sihuas – Rúpac. Sus aguas surgen en forma de manantiales en la formación Chimú y pertenecen a la familia de las sulfatadas con contenidos de 64.2 mg/L de SO₄, temperatura de 57°C y pH ligeramente ácido (6.4). de acuerdo a la geotermometría la temperatura de reservorio de esta fuente es de 69°C.^[2]

La fuente Andaymayo se encuentra en las afueras del poblado del mismo nombre, al lado de la carretera Andaymayo - Pasacancha. Sus aguas emergen en la Formación Chimú y pertenecen a la familia de las sulfatadas, con contenidos de 39.1 mg/L de SO₄, temperatura de 23°C y pH ligeramente ácido (6.2).^[2]

La fuente Chihuán está ubicada en la margen derecha de la quebrada Arahuay, aproximadamente a 0.5 Km de la carretera Churín – Andaymayo. Sus aguas surgen en forma de manantial en la Formación Santa – Carhuaz y pertenece a la familia de las sulfatadas con contenido de 119.6 mg/L de SO₄, temperatura de 36°C y pH neutro (7.1).^[2]

Las fuentes Pomabamba y Villa Fátima se encuentran en las afueras de Pomabamba, sus aguas surgen en la Formación

Chicama y fluyen hacia la margen derecha del río del mismo nombre. Ambas pertenecen a la familia de las bicarbonatadas. La primera contiene 70.6 – 90.4 mg/L de HCO_3 , con una temperatura de 47°C – 49°C y pH neutro (6.7 – 6.8); la segunda 100.6 mg/L de HCO_3 , temperatura de 45°C y pH neutro (7.1).^[2]

La fuente El Pato está ubicada cerca de la Hda. Del mismo nombre, en la margen izquierda del río Santa, al lado de la carretera Caraz – Huallanca. Sus aguas surgen en el Grupo Calipuy y pertenecen a la familia de las cloruradas, con contenido de 348 mg/L de Cl, temperatura de 44°C y pH neutro (6.9).^[2]

La fuente Baños Huancarhuás se halla en la margen derecha de la quebrada Yuracmayo, al lado de la carretera Huancarhuás – Caraz. Sus aguas surgen a través de manantiales en un intrusivo terciario, pertenecen a la familia de las cloruradas con contenidos de 1 434 – 1 836 mg/L de Cl, temperaturas de 56°C – 73°C (de reservorio 120°C – 117°C) y pH ligeramente ácido a neutro (6.4 – 7.1). en sus alrededores se observan sínteres de carbonato.^[2]

La fuente de Shángol se encuentra a la margen derecha de la quebrada Baños, aproximadamente a 2 Km de la carretera Caraz – Huallanca. Sus aguas surgen en el Grupo Callipuy y pertenecen a la familia de las sulfatadas, con contenido de 380.3 mg/L de SO_4 , temperatura de 38°C y pH neutro (6.6).^[2]

Las fuentes de Hualcán y La Merced surgen en forma de manantiales en la Formación Yungay y pertenecen a la familia de las bicarbonatadas. La primera se halla cerca del poblado de

Hualcán, en la margen derecha del río del mismo nombre, con contenido de 123.3 mg/L de HCO_3 ; la segunda en la margen izquierda del río Chucchún, al lado de la carretera Carhuaz – Pariacaca, con contenido de 144.2 mg/L de HCO_3 . Ambas tienen una temperatura de 39°C y pH ligeramente ácido (5.9).^[2]

B. Origen de las aguas termales y minerales

Las fuentes Pacatqui y Aquilina muestran altas concentraciones de Cl y Na y altas temperaturas, que son indicios de ser aguas profundas. Por la semejanza entre sus ratios probablemente pertenezcan a un mismo acuífero y la alta presencia de HCO_3 hace suponer que en su trayecto hacia la superficie existan rocas calcáreas.

Otras fuentes con semejanzas entre sus ratios son Pomabamba y Villa Fátima. Sus concentraciones nos indican que son aguas subterráneas calentadas.

Las fuentes Hualcán y La Merced también presentan ratios semejantes entre sí. Al igual que las anteriores se interpretan que estas fuentes son aguas subterráneas superficiales calentadas.

El resto de las aguas no tienen relaciones de semejanza entre sí y por lo tanto se presume que emergen de distintos acuíferos.^[2]

C. Áreas de interés geotérmico en el norte del Perú

Este estudio fue realizado por Electroperú con la cooperación técnico-económica del Gobierno italiano a través Cesen Co.

Los resultados de los trabajos de exploración llevaron a la selección de las seis áreas de interés:

Grupo A: consiste en Callejón de Huaylas que se ha dividido en las siguientes sub-zonas, de norte a sur, de acuerdo a la prioridad:

Corongo, Caraz y Huaraz.

Grupo B: Otuzco y La Grama (Aguas Calientes)

Grupo C: Cajamarca - Baños del Inca

En Corongo es muy importante la zona de Baños de Aquilina porque tiene la temperatura más alta de 90°C y la geotermometría indica altas temperaturas^[1]:

Na-K: 220°C – 290°C

Na-Cl: 240°C – 280°C

También se registró un buen caudal, alrededor de los 15 L/s y tiene acceso fácil por estar cerca de la carretera La Pampa – Corongo^[2].



FIGURA 2.27: Lotes geotérmicos en la Región 1 y 2
 FUENTE: Mapa Geotérmico del Perú-Víctor Vargas-Director

2.1.2. CICLO RANKINE BINARIO

El ciclo de Rankine es un ciclo termodinámico que tiene como objetivo la conversión de calor en trabajo, constituyendo lo que se denomina un ciclo de potencia. Como cualquier otro ciclo de potencia, su eficiencia está acotada por la eficiencia termodinámica de un ciclo de Carnot que operase entre los mismos focos térmicos. Una planta de ciclo Rankine cuenta con los siguientes componentes: ^[7]

- **Turbina:** Es un motor rotativo que convierte en energía mecánica la energía de una corriente de vapor de agua o gas. Su elemento básico es el rotor, que cuenta con palas, colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar.
- **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.
- **Evaporador:** Es un intercambiador de calor donde se produce la transferencia de energía térmica desde un medio a ser enfriado hacia el fluido refrigerante que circula en el interior del dispositivo.
- **Fuente de Calor:** Es un sistema donde se genera gran cantidad de poder calorífico. En la CRB se trata de un intercambiador de calor que es un dispositivo construido para intercambiar eficientemente el calor

de un fluido a otro, tanto si los fluidos están separados por una pared sólida para prevenir su mezcla, como si están en contacto directo.

El diseño de los intercambiadores de calor requiere analizar otro diagrama termodinámico: el diagrama Temperatura-Transferencia de calor o diagrama T-q Fig. 2.28. El eje de abscisas representa la cantidad total de calor que pasa del fluido geotérmico al fluido de trabajo, expresada en porcentaje. El eje de ordenadas indica la temperatura alcanzada por el fluido geotérmico y de trabajo en el proceso de intercambio de calor.

En el precalentador, el fluido de trabajo recibe el calor necesario como para alcanzar su punto de ebullición, el estado 5. La evaporación ocurre de 5 a 1, siguiendo una isoterma cuando se trata de un fluido de trabajo puro. 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 estricción o pinchpoint**.

El "punto de pinch" o ΔT es la región más próxima entre las dos corrientes de distintas temperaturas. El valor del pinch es un grado que identifica el mínimo consumo de energía; y este se debe considerar, que a menor valor se tendrá mayor recuperación energética entre 5°C a 10°C. Según Procesos de Transferencia de Calor-Donald Kern.^[8]

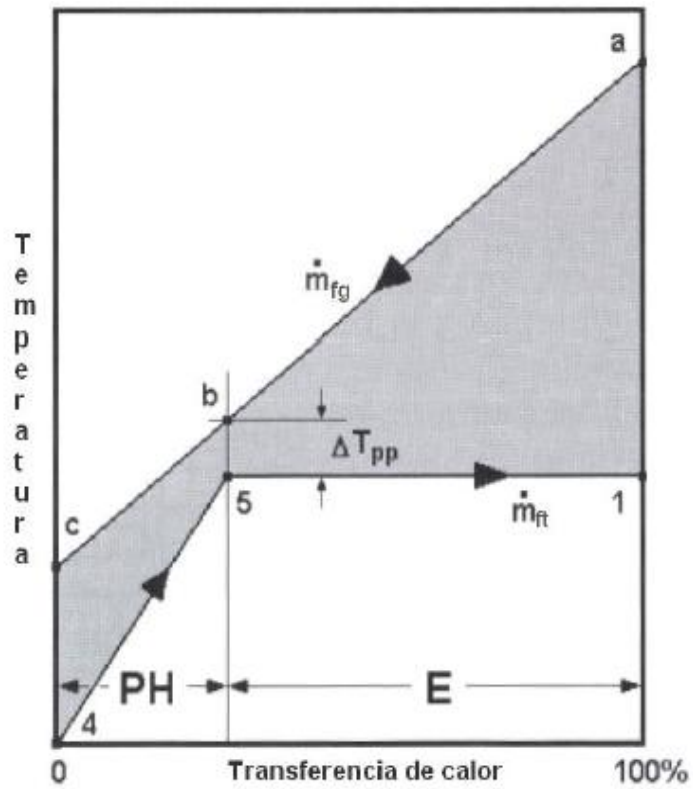


Figura 2.28. Diagrama Temperatura - Transferencia ($T - q$) de calor para el precalentador y el evaporador.

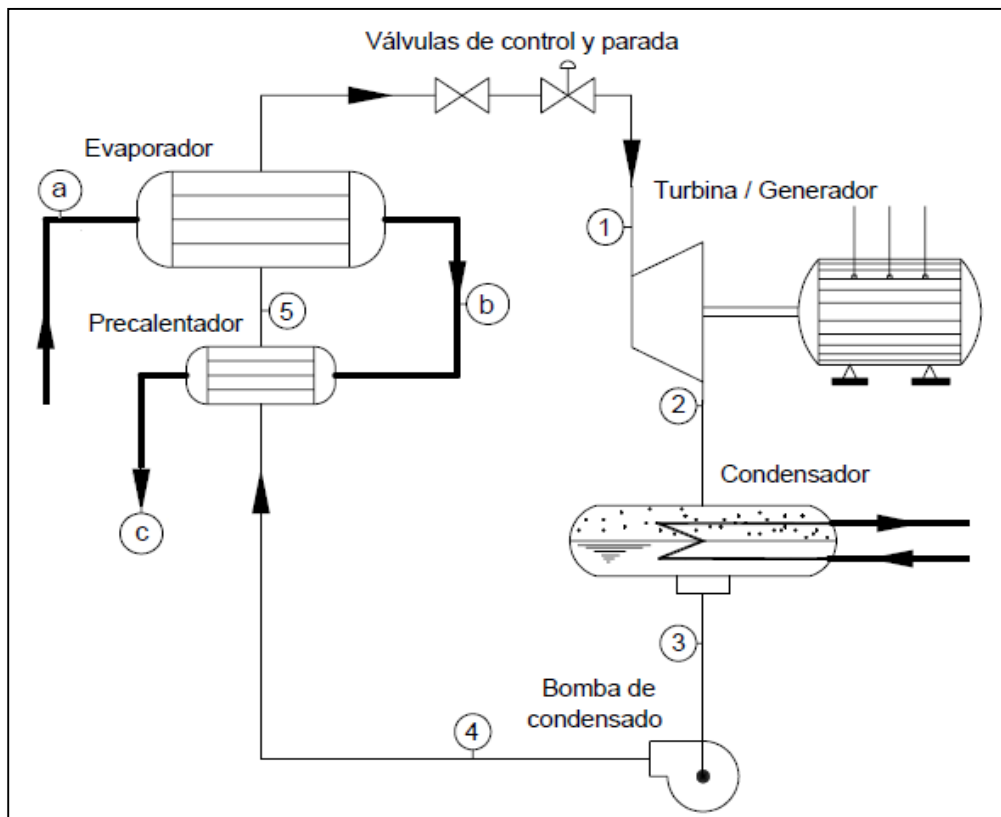


Figura 2.29. Esquema de una central de ciclo binario básico
Fuente: Alberto Galante Marcos – UPC

2.1.3. DIAGRAMA T-S DEL CICLO

El diagrama T-s de un ciclo Rankine ideal está formado por cuatro procesos:

- **Proceso 1-2:** Expansión isoentrópica del fluido de trabajo en la turbina.^[7]
- **Proceso 2-3:** Transferencia de calor isobáricamente desde el fluido de trabajo hacia el fluido de refrigeración.^[7]
- **Proceso 3-4:** Compresión isoentrópica del fluido de trabajo en fase líquida mediante una bomba.^[7]
- **Proceso 4-1:** Transferencia de calor isobáricamente hacia el fluido de trabajo a través de la fuente de calor ^[7]

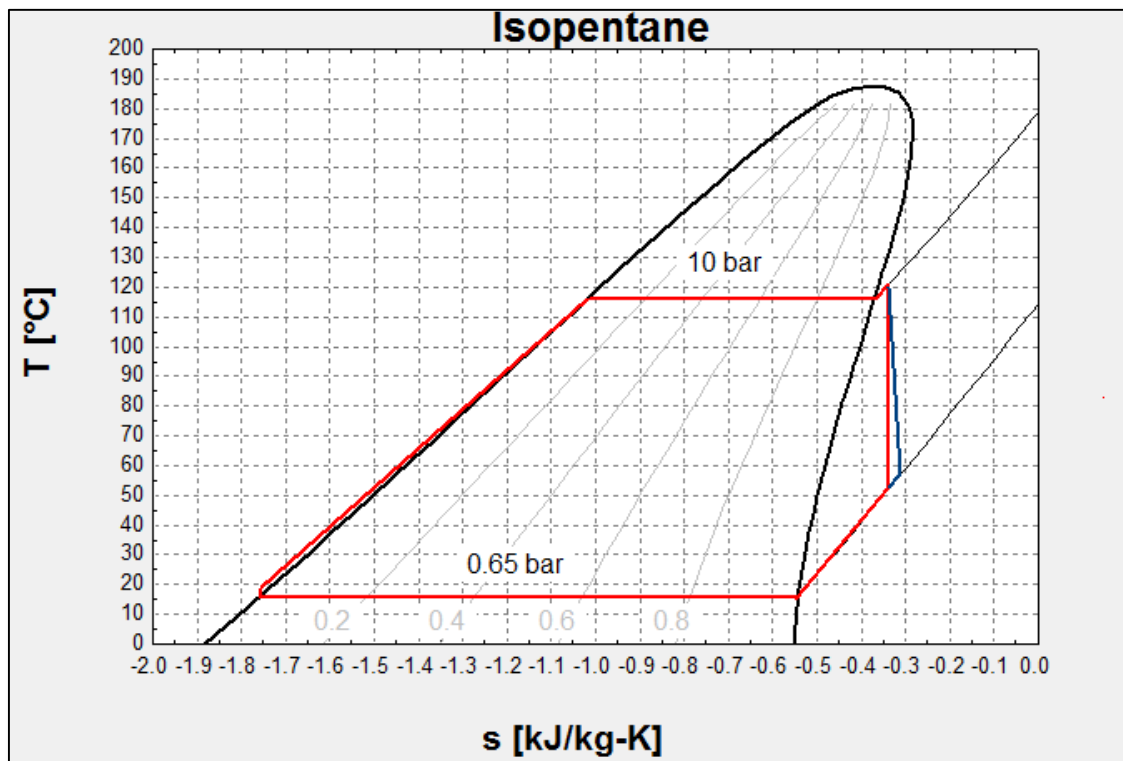


Figura 2.30. Diagrama temperatura – entropía del ciclo Rankine Binario ideal y real
Fuente: Elaboración Propia

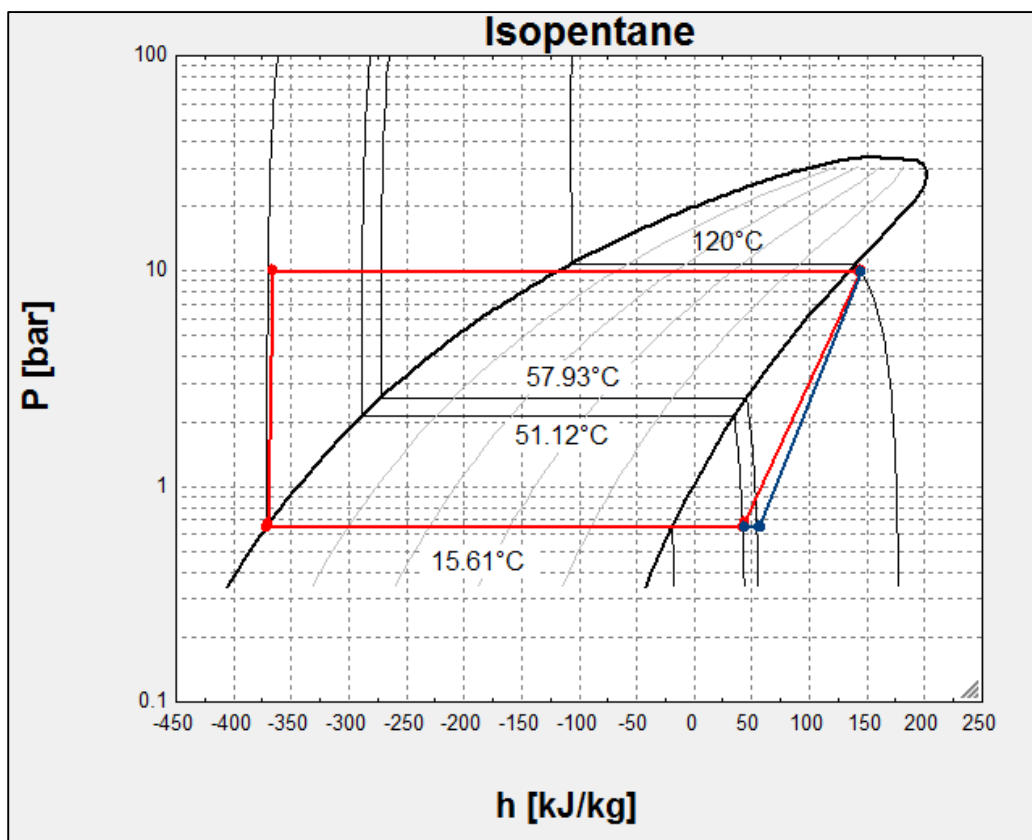


Figura 2.31. Diagrama presión – entalpía del ciclo Rankine Binario ideal y real
Fuente: Elaboración Propia

2.2. PROPIEDADES DE LOS REFRIGERANTES COMO FLUIDO SECUNDARIO

TABLA 2.2. PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DE ISOBUTANO

DATOSTÉCNICOS	
Fórmula semidesarrollada	(H ₃ C)-CHCH ₃ -CH ₃
Fórmula molecular	C ₄ H ₁₀
Estado de agregación	Gas
Apariencia	inoloro
Olor	inodoro
Densidad (Kg/m ³)	2.51
Masa molar (g/mol)	58.08
Punto de fusión (°C)	-160
Punto de ebullición (°C)	-11.7
Temperatura de autoignición (°C)	460
Solubilidad en agua (g/mL)	0.000049

Fuente: Elaboración propia

TABLA 2.3. PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DE ISOPENTANO

DATOS TÉCNICOS	
Fórmula semidesarrollada	CH ₃ -CH(CH ₃)-CH ₂ -CH ₃
Fórmula molecular	C ₅ H ₁₂
Estado de agregación	Líquido y vapor
Apariencia	incoloro
Olor	levemente parafínico
Densidad (Kg/m ³)	616
Masa molar (g/mol)	72.15
Punto de fusión (°C)	-160
Punto de ebullición (°C)	28
Temperatura de autoignición (°C)	420
Solubilidad en agua	inmiscible

Fuente: Elaboración propia

TABLA 2.4. PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DE R-134a

DATOS TÉCNICOS	
Fórmula semidesarrollada	F ₃ C – CH ₂ F
Fórmula molecular	CH ₂ FCF ₃
Estado de agregación	Gas
Apariencia	incoloro
Olor	levemente etéreo
Densidad (g/cm ³)	0.00425
Masa molar (g/mol)	102.03
Punto de fusión (°C)	-103.3
Punto de ebullición (°C)	-26.2
Punto de inflamabilidad (°C)	250
Solubilidad en agua (wt%)	0.15

Fuente: Elaboración propia

TABLA 2.5. PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DE (R-22)

DATOS TÉCNICOS	
Fórmula semidesarrollada	
Fórmula molecular	CHClF ₂
Estado de agregación	Gas
Apariencia	incoloro
Olor	
Densidad (Kg/L)	1.19
Masa molar (g/mol)	86.48
Punto de fusión (°C)	-175
Punto de ebullición (°C)	-41
Inflamabilidad en el aire	Ninguno
Solubilidad en agua (wt%)	0.3

Fuente: Elaboración propia

TABLA 2.6. PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DE AMONIACO

DATOS TÉCNICOS	
Fórmula semidesarrollada	
Fórmula molecular	NH ₃
Estado de agregación	Gas
Apariencia	incoloro
Olor	acre
Densidad (Kg/m ³)	0.73
Masa molar (g/mol)	17.031
Punto de fusión (°C)	-77.7
Punto de ebullición (°C)	-33.4
Temperatura de autoignición (°C)	651
Solubilidad en agua (wt%)	40

Fuente: Elaboración propia

TABLA 2.7. PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DE NITRÓGENO

DATOS TÉCNICOS	
Fórmula molecular	N ₂
Estado de agregación	Gas
Apariencia	incolore
Olor	inodoro
Densidad (Kg/m ³)	1.2506
Masa molar (g/mol)	14.0067
Punto de fusión (°C)	-210
Punto de ebullición (°C)	-196
Temperatura de autoignición (°C)	ninguna
Solubilidad en agua (wt%)	40

Fuente: Elaboración propia

**CAPÍTULO III:
MATERIALES Y METODOLOGÍA DE CÁLCULO**

3.1. MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

En la realización del presente proyecto ha sido necesario el uso de diversos tipos de software como Microsoft Word para detallar la información recaudada y sintetizada; Microsoft Excel para la elaboración de tablas, indicadores y formularios para la determinación de valores calculados; se hizo uso de un software para comprobar los cálculos realizados denominado EES que contiene los datos de todos los fluidos.

Se hizo uso especial de información fidedigna en libros electrónicos, libros físicos, informes y tesis de investigación desarrollado por empresas extranjeras especializadas alrededor del mundo.

3.2. METODOLIGÍA UTILIZADA EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

En el presente proyecto de generación de potencia eléctrica mediante una Central de Ciclo Binario se realiza considerando los estudios de geotermometría que nos indican temperaturas internas de 220°C a 290°C [1]

La evaluación técnica se realizará considerando las temperaturas del fluido geotermal desde 150°C a 290°C a la entrada del Intercambiador de Calor, puesto que el calor aprovechable de un yacimiento geotérmico varía de acuerdo a la profundidad a la que se encuentra el recurso. La temperatura de rechazo del fluido geotermal se considera a 105°C. En función a estos datos, se evaluará un intercambiador de

calor a diversas temperaturas del fluido geotermal a la entrada y salida de 150 °C, 105 °C – 290 °C, 105 °C respectivamente, con un caudal de 15 Kg/s^[2]; y el fluido secundario a la temperatura de 100°C y a un caudal determinado bajo balance de energía que darán inicio al proceso termodinámico.

El rendimiento que se considerarán en los componentes se obtendrá de la caracterización de los mismos en catálogos anexados

3.2.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA BINARIO BÁSICO

El funcionamiento de esta central geotermoeléctrica es la de un ciclo Rankine simple. Pero en este tipo de centrales tiene como fluido de trabajo a un refrigerante que trabaja en circuito.

➤ Estado 01:

De propiedades del isopentano (EES) obtenemos las siguientes entalpia y entropía a temperatura inicial de 373 K y presión inicial de 20 Bar.

$$h_1 = h(P_1, T_1) \text{ KJ/Kg} \quad 3.1$$

$$S_1 = s(P_1, T_1) \text{ KJ/Kg K} \quad 3.2$$

➤ **Estado 02:**

Sabiendo que este proceso es isoentrópico según la segunda ley de la termodinámica hallamos la entalpía 02 considerando la entropía 02 igual a la entropía 01 y una presión de expansión de 0.25 bar^[7] (Anexo 12).

$$h_2 = h(P_2, S_2) \text{ KJ/g} \quad 3.3$$

$$S_2 = S_1 \quad 3.4$$

Consecuentemente determinamos el valor de la entalpía h_{2r} con irreversibilidad mediante siguiente ecuación considerando que la eficiencia de la turbina es de 88%^[14] (Anexo 12)

$$\eta_{TV} = \frac{h_1 - h_{2r}}{h_1 - h_2} \quad 3.5$$

$$h_{2r} = [h_1 - \eta_{TV}(h_1 - h_2)] \quad 3.6$$

➤ **Estado 03:**

Determinamos la entalpía h_3 de propiedades del isopentano (EES) a líquido saturado, y la densidad por la cual obtendremos el volumen específico a presión de 0.25 bar^[7] (Anexo 12)

$$h_3 = h(P_2, \text{liq. sat.}) \text{ KJ/Kg} \quad 3.5$$

$$v_3 = v(P_2) \text{ m}^3/\text{Kg} \quad 3.7$$

➤ **Estado 04:**

Determinamos la entalpía h_4 mediante la siguiente ecuación considerando que $P_4=P_1$ y $P_3=P_2$ ^[7]

$$h_{4s} = h_3 + v_3(P_4 - P_3) \quad 3.8$$

Determinamos el estado real de la entalpía h_{4r} considerando una eficiencia de bomba de 80%^[14]

$$\eta_B = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4r}} \quad 3.9$$

$$h_{4r} = -\frac{h_3 - h_4}{\eta_B} + h_3 \quad 3.10$$

3.2.2. COMPONENTES DEL CICLO RANKINE

3.2.2.1. Turbina

El vapor generado en la fuente de calor en el estado 1, con presión y temperatura elevadas, se expande a través de la turbina para producir trabajo, descargándose en el estado 2 a baja presión.

$$\dot{W}_T/\dot{m} = (h_1 - h_2) \quad 3.11$$

$$\dot{P}_T = \dot{m} (h_1 - h_{2s}) \quad 3.12$$

Considerando las irreversibilidades de la turbina según la siguiente formula determinamos el h_2 real.^[7]

3.13

$$\eta_T = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}}$$

$$h_2 = (h_1 - \eta_T * (h_1 - h_{2s})) \quad 3.14$$

Donde:

\dot{m} : Flujo másico del fluido de trabajo

\dot{W}_T/\dot{m} : Trabajo desarrollado en la turbina en unidades de KJ/Kg

\dot{P}_T : Potencia generada por la turbina en unidades de KJ/sg ó KW

3.2.2.2. Condensador

Se inicia en el estado 2, aquí se transfiere calor del vapor al agua en de refrigeración que circula en un flujo separado. El vapor se condensa y la temperatura del agua de refrigeración aumenta. Y desemboca en el estado 3.

$$\dot{Q}_c/\dot{m} = (h_2 - h_3) \quad 3.15$$

$$\dot{Q}_c = \dot{m} (h_2 - h_3) \quad 3.16$$

Donde

\dot{Q}_c/\dot{m} : Calor cedido en el condensador en unidades de KJ/Kg.

\dot{Q}_c : Potencia del condensador e unidades de KJ/Kg ó KW.

3.2.2.3. Bomba

El líquido procedente del condensador en el estado 3 es bombeado desde la presión más alta en el estado 4 antes de ingresar a la fuente de calor.

$$\dot{W}_B/\dot{m} = (h_{4s} - h_3) \quad 3.17$$

$$\dot{P}_B = \dot{m} * (h_{4s} - h_3) \quad 3.18$$

Considerando las irreversibilidades de la bomba según la siguiente formula determinamos el h_2 real.^[7]

$$\eta_B = \frac{(h_{4s} - h_3)}{(h_4 - h_3)} \quad 3.19$$

$$h_4 = \frac{(h_{4s} - h_3)}{\eta_B} + h_3 \quad 3.20$$

Donde:

\dot{W}_B/\dot{m} : Trabajo consumido por la bomba en unidades de KJ/Kg.

\dot{P}_B : Potencia consumida por la bomba en unidades de KJ/só KW

3.2.2.4. Fuente de Calor

Usamos un intercambiador de calor que es un dispositivo para intercambiar el calor de un fluido a otro Este inicia en el estado 4 y termina en el estado 1 dando paso a un nuevo ciclo.

$$\dot{Q}_{IC}/\dot{m} = (h_1 - h_4) \quad 3.21$$

$$\dot{P}_{IC} = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad 3.22$$

Donde

\dot{Q}_{IC}/\dot{m} : Calor cedido en el I.C en unidades de KJ/Kg

\dot{P}_{IC} : Potencia en el I.C en unidades de KJ/Kg ó KW

3.2.2.5. Potencia Neta.

Es la fracción útil de energía que se desarrolla en el ciclo termodinámico, siendo la diferencia entre la potencia producida por la turbina y la potencia que consume la bomba.

$$P_{neta} = \dot{P}_T - \dot{P}_B \quad 3.23$$

Donde

P_{neta} : Potencia neta en unidades de KJ/Kg ó KW

3.2.2.6. Potencia Neta generada.

Es la potencia neta relacionada a la eficiencia mecánica η_M y la eficiencia de generación η_G en el generador la cual determinamos con la ecuación:

$$P_{neta,G} = P_{neta} \times \eta_M \times \eta_G \quad 3.24$$

Donde

$P_{neta,G}$: Potencia neta generada en unidades de KJ/Kg ó KW

η_{TM} : Eficiencia de transmisión mecánica en unidades de %.

η_G : Eficiencia de Generación en unidades de %.

3.2.2.7. El Rendimiento Térmico de Planta.

Indica la cantidad de energía recibida por el fluido de trabajo en el Intercambiador de Calor.

$$\eta_{planta} = \frac{Pot. Generada}{Pot. Suministrada} \quad 3.25$$

$$\eta_{planta} = \frac{P_{TV}}{Q_{IC}} \quad 3.26$$

$$\eta_{planta} = \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_4)} \quad 3.27$$

➤ Flujo Másico del Fluido Secundario

Debemos tener en cuenta que la potencia generada por la turbina depende directamente del flujo másico del fluido secundario, ya que el trabajo desarrollado por la turbina es constante. Por lo que se determinara el flujo másico de este mediante el siguiente balance de energía. [8]

$$\dot{m}_{f.geo} \times (h_a - h_c) = \dot{m}_{f.sec} \times (h_1 - h_4) \quad 3.28$$

$$\dot{m}_{f.geo} \times C_{p_{f.geo}} \times (T_a - T_b) = \dot{m}_{f.sec} \times C_{p_{f.sec}} \times (T_1 - T_4) \quad 3.29$$

Donde:

$\overline{C_p}$: Calor específico del fluido geotérmico y secundario KJ/Kg °C

T_1 : Temperatura inicial del fluido secundario en el ciclo cerrado, además de ser la misma con la que sale del intercambiador de calor en unidades de °C

T_4 : Temperatura final del fluido secundario en el ciclo cerrado, además de ser la misma con la que entra al intercambiador de calor en unidades de °C.

T_a : Temperatura de entrada del fluido geotermal al intercambiador de calor en unidades de °C.

T_c : Temperatura de salida del fluido geotermal del intercambiador de calor en unidades de °C.

El rendimiento del intercambiador de calor se basa en el pinchpoint, a menor valor de este, significa mayor intercambio de calor en los fluidos.^[8]

3.3. CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica tiene por objetivo analizar la viabilidad económica de una central de ciclo binario usando los siguientes criterios: ^[17]

- Se considerará una central despachada en base.
- Como caso base se considera un horizonte de evaluación de 20 años.
- La evaluación económica se realiza según el valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de retorno de la inversión (PRI). Se considera una tasa de descuento de 12 %.
- Las cifras serán calculadas en dólares.

3.3.1. Valor Actual Neto (VAN)

Para el cálculo del VAN de este proyecto se considerarán tanto entradas como desembolsos, estos últimos se representan como flujos negativos de efectivo y las entradas como positivos.^[17]

$$VAN = -INV - EGR(P/A, i, n) + ING(P/A, i, n) \quad 3.29$$

Donde:

INV: Inversión total del proyecto, en dólares.

EGR: Egresos totales del proyecto por año, en dólares.

ING: Ingresos totales del proyecto por venta de energía y potencia, en dólares.

P/A: Factor de valor presente de una serie uniforme (dato de tabla)

i: Tasa de descuento (%)

n: Tiempo de duración del proyecto (años).

3.3.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es la tasa de interés ganada sobre el saldo no recuperado de una inversión. El procedimiento general empleado para calcular una tasa de retorno es el siguiente: ^[17]

- Trazar un diagrama de flujo de efectivo.
- Plantear la ecuación de la tasa de retorno de la forma siguiente:

$$0 = -VP_E + VP_I \quad 3.30$$

3.3.3. Periodo De Retorno de la Inversión (PRI)

Es un índice que mide el riesgo de la inversión. Representa el número de años necesarios para que la suma de los flujos de caja actualizados iguales al capital inmovilizado. ^[17]

$$PRI = \frac{INVERSION(US\$)}{INGRESOS(US\$/AÑO) - EGRESOS(US\$/AÑO)} \quad 3.31$$

3.3.4. INVERSIONES Y COSTOS

La evaluación económica requiere de modelos que permita establecer los costos de inversiones, costos asociados al funcionamiento y los ingresos producto de la participación de la empresa en el mercado. En cada uno de los puntos, en la medida que amerite, se especifican las características particulares.

3.3.4.1. Reconocimiento y Exploración:

Los estudios geológicos, geofísicos, geoquímicos y otros, son estudios que tienen por objetivo determinar el potencial geotérmico de un área específica en términos preliminares (El área de recurso geotérmico otorgado por el estado de acuerdo a ley tiene una extensión máxima de 1000 ha, para efectos de estudio se solicitará 12000 ha, las cuales se dividirán en áreas de 3000 ha cada una). Para garantizar buenos resultados se requiere estudiar por lo menos 4

áreas, donde se realizan perforaciones de 4 pozos exploratorios de 4” de diámetro a 1.5 Km de profundidad ^[15]

3.3.4.2. Desarrollo (Explotación)

La perforación de pozos productores para obtener el fluido necesario para generar 5 085 KW de potencia, se realizan perforaciones para la construcción de 2 pozos productores de 9 5/8 in de diámetro a 1.5 Km de profundidad, de los cuales 1 será destinado para la reinyección. ^[15]

Concesión: según el artículo 21 del Reglamento de la Ley Orgánica de Recursos Geotérmicos, se debe presentar un monto equivalente al 1% del presupuesto, vigente hasta la suscripción del contrato.

Equipamiento de superficie: consta de tuberías, accesorios, aislamiento térmico, bomba de extracción, tratamiento de superficie, sistema de instrumentación, eléctrico y de control.

Equipo de generación: consta de una turbina ORC, intercambiador de calor, bomba alimentación, bomba de enfriamiento, condensador y generador eléctrico.

Obras civiles: corresponde a las estructuras de la central tales como los edificios principal y auxiliar que cobijan la casa de control, oficinas, tableros, el local de baterías y talleres.

Montaje e instalación: corresponde al trabajo de ingeniería requerido para la habilitación de la planta.

Subestación y transformador: consta del transformador de potencia y otros equipos (ver Tabla N° 2 del Anexo 10).^[15]

3.3.4.3. Operación y mantenimiento

Para operar la planta se ha considerado la participación de 27 personas, cuya distribución se especifica en la tabla N°3 del Anexo 13.

El mantenimiento equivale al 1.5% de la inversión en pozos, transmisión y en la planta eléctrica.

La administración y gastos generales corresponden al 30% de los gastos relativos al personal. ^[15]

3.3.5. INGRESOS

Para la determinación de los ingresos que generaría la central térmica de ciclo binario debemos tener en cuenta la potencia de la planta y la energía generada a lo largo de un año, así como la publicación por parte de OSINERGMIN de los precios en barra de referencia a nivel de generación, las cuales se considerarán constantes para el periodo de evaluación.

3.3.6. Ingreso por concepto de venta de energía:

Para efectos de cálculo, la energía será valorizada según el precio de barra de la subestación de referencia de Huallanca 138 KV, obtenido de la Resolución OSINERGMIN N° 081-2015-OS/CD de la siguiente manera: 16.56ctm.S./KWh (5.41ctm.\$/KWh) para la energía en horas punta y 13.72ctm.S./KWh (4.49 ctm.\$/KWh) para la energía en horas fuera de punta. ^[16]

3.3.7. Ingreso por concepto de venta de potencia:

El precio de potencia en punta a nivel de generación en la S.E. Huallanca es de 19.12 S./KW-mes (6.2504 \$/KW-mes). Se considera que para el periodo de análisis la potencia de la planta se mantiene constante al igual que el precio de la potencia. ^[16]

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS JUSTIFICADOS

4.1. EVALUACION DE REFRIGERANTES EN LA GENERACION DE POTENCIA ELECTRICA

Según una detallada investigación de fluidos, podemos determinar cuáles son los más óptimos, considerando sus propiedades y características bajo parámetros que se utilizaran en la planta en la planta de Ciclo Binario como son presión y temperatura.

CUADRO 4.1. Evaluación de Fluidos para ser usado como Fluido Secundario en el Ciclo Binario.

REFRIGERANTE	TEMPERATURA INICIAL (°C)	PRESIÓN INICIAL (Bar)	PRESIÓN DE EXPANSIÓN (Bar)	FLUJO MÁSSICO DEL FLUIDO (Kg/s)	POTENCIA GENERADA (KW)	EFICIENCIA DE PLANTA
Amoniaco	120	10	0.65	35.72	9943	19.43%
Propano	120	10	0.65	33.7	4188	21.01%
n-Butano	120	10	0.65	43.96	4153	18.70%
Isopentano	120	10	0.65	55.48	4127	20.01%
Isobutano	120	10	0.65	40.63	3866	19.94%
R152a	120	10	0.65	37.65	3044	19.89%
Nitrógeno	120	10	0.65	18.09	2926	36.35%
R143a	120	10	0.65	32.83	2151	20.23%
R22	120	10	0.65	34.05	2052	21.07%
R134a	120	10	0.65	37.23	2017	18.74%
R11	120	10	0.65	53.74	2004	19.09%
R123	120	10	0.65	55.74	1948	17.75%
R12	120	10	0.65	36.32	1610	20.54%
R125	120	10	0.65	32.71	1542	18.75%
n- pentano	120	10	0.65	59.99	1496	12.68%
R114	120	10	0.65	45.6	1474	17.44%
R13	120	10	0.65	27.68	1447	22.52%
R14	120	10	0.65	22.8	1421	24.94%
n-hexano	120	10	0.65	90.1	913.3	8.62%
R113	120	10	0.65	68.38	503.3	11.18%
n-heptano	120	10	0.65	161.7	501.9	5.66%
n-octano	120	10	0.65	612.1	46.31	6.46%

Fuente: Elaboración propia

El fluido mas apropiado para ser usado como fluido secundario de trabajo es el isopentano a temperatura inicial de 120 °C, presión inicial de 10 bar y presión de expansión de 0.65 bar. Detallamos los cálculos de estos resultados paso a paso según software de fluidos EES y biografía confiable.

4.2. CALCULOS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL POTENCIAL GEOTERMICO EN LA GENERACIÓN DE POTENCIA.

Según el principio de funcionamiento de Ciclo Rankine basada en la segunda ley de la termodinámica explicado con anterioridad, aplicaremos cada una de las formulas en los componentes que se usaran en nuestra Central de Ciclo Binario.

➤ **Estado 01:**

De propiedades del isopentano (EES) obtenemos las siguientes entalpia y entropía a temperatura inicial de 120°C y presión inicial de 10 Bar obtenidos mediante una detallada evaluación de fluidos y parámetros, siendo estas las más optimas y eficaces en Generación de producción de Potencia Eléctrica y Eficiencia de Planta. Según la ecuación 3.1 y 3.2

$$h_1 = h(P_1, T_1) \text{ KJ/Kg}$$

$$S_1 = s(P_1, T_1) \text{ KJ/Kg}$$

$$h_1 = 144.7 \text{ KJ/kg}$$

$$S_1 = -0.3438 \text{ kJ/kg K}$$

➤ **Estado 02:**

Sabiendo que este proceso es isoentrópico según la segunda ley de la termodinámica - Moran Shapiro), hallamos la entalpia 02 ideal considerando la entropía 02 y una presión de expansión de 0.65 bar (Anexo 14). Según ecuación 3.3 y 3.4

$$h_{2s} = h(P_2, S_2) \text{ KJ/Kg}$$

$$S_2 = S_1$$

$$h_{2s} = 41.84 \text{ KJ/Kg}$$

$$S_2 = -0.3438 \text{ kJ/kg K}$$

Consecuentemente determinamos el valor de la entalpia h_{2s} considerando que la eficiencia de la turbina es de 88% (Anexo 14). Según la ecuación 3.5

$$\eta_{TV} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}}$$

$$h_2 = [h_1 - \eta_{TV}(h_1 - h_{2s})]$$

$$h_2 = [144.7 \text{ KJ/Kg} - 0.88 \times (144.7 - 41.84) \text{ KJ/Kg}]$$

$$h_2 = 54.19 \text{ KJ/Kg}$$

➤ **Estado 03:**

Determinamos la entalpía h_3 en propiedades del isopentano (EES) a líquido saturado, y la densidad por la cual obtendremos el volumen específico a presión de 0.65 bar Según la ecuación 3.7, 3.8 y 3.9

$$h_3 = h(P_2, \text{liq. sat.}) \text{ KJ/Kg}$$

$$v_3 = v(P_2) \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_3 = -371.1 \text{ KJ/Kg}$$

$$v_3 = 1.603 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Kg}$$

➤ **Estado 04:**

Determinamos la entalpía h_{4s} considerando que $P_4=P_1= 10$ bar y $P_3=P_2=0.65$ bar. Según ecuación 3.8.

$$h_4 = [h_3 + v_3(P_4 - P_3) \times 100]$$

$$h_4 = [-371.1 \text{ kJ/kg} + 1.603 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Kg} * (10 - 0.65) \text{ bar} \times 100]$$

$$h_4 = -369.6 \text{ KJ/Kg}$$

Usamos la constante 100 al final de la ecuación para que obtener los valores en KJ/Kg.

Determinamos el estado real de la entalpía h_4 usando la ecuación...

3.9 y considerando una eficiencia de bomba de 80%^[7](Anexo 17)

$$\eta_B = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4r}}$$

$$h_4 = -\frac{h_3 - h_4}{\eta_B} + h_3$$

$$h_4 = -\frac{[-371.1 - (-369.6)]Kj/Kg}{0.80} - 371.1 Kj/Kg$$

$$h_4 = -369.2 Kj/Kg$$

Una vez determinados las entalpias realizaremos un balance de energía para determinar el caudal del fluido secundario que se usara como corriente fluida en la Central de Ciclo Binario según dato de caudal del fluido geotérmico en la región Corongo – Callejón de Huaylas de 15 kg/s según *Aguas termales y Minerales en el Norte del Perú* ^[2]

➤ **Trabajo desarrollado por la Turbina**

Determinamos el trabajo desarrollado por la turbina W_{TV} mediante la ecuación 3.11 usando los datos obtenidos y el caudal del fluido secundario determinado en el ítem anterior.^[7]

$$W_{TV} = (h_1 - h_{2r})$$

$$W_{TV} = (144.7 - 54.19)Kj/Kg$$

$$W_{TV} = 90.56 Kj/Kg$$

➤ **Trabajo consumido por la Bomba**

Determinamos la Potencia de la bomba P_B mediante la ecuación 3.18 usando el caudal del fluido secundario y los datos obtenidos.

$$W_B = (h_{4r} - h_3)$$

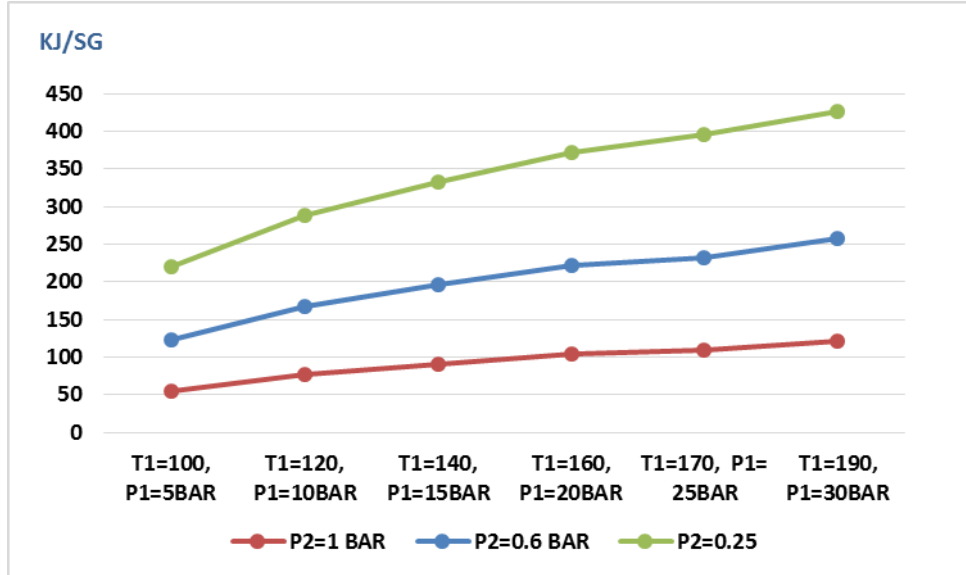
$$W_B = (-369.2 - (-371.1))Kj/Kg$$

$$W_B = 1.9 Kj/Kg$$

El trabajo desarrollado y consumido por la turbina y bomba, son totalmente independiente del flujo másico del fluido secundario de trabajo por ser constante, pero este, ligado a un valor del fluido secundario, cualquiera que fuera, obtenemos la potencia desarrollado y consumida.

4.3. EVALUACION DE TRABAJO DE LA TURBINA A PRESIONES VARIABLES.

Trabajo de la Turbina vs Temperatura y Presión inicial variables a distintas Presiones de expansión



Fuente: Elaboración Propia

Para analizar este comportamiento se considerará una temperatura inicial de 120°C, presiones iniciales variables donde observaremos su eficacia independientemente del flujo másico del fluido de trabajo. (Anexo 04, 05,06)

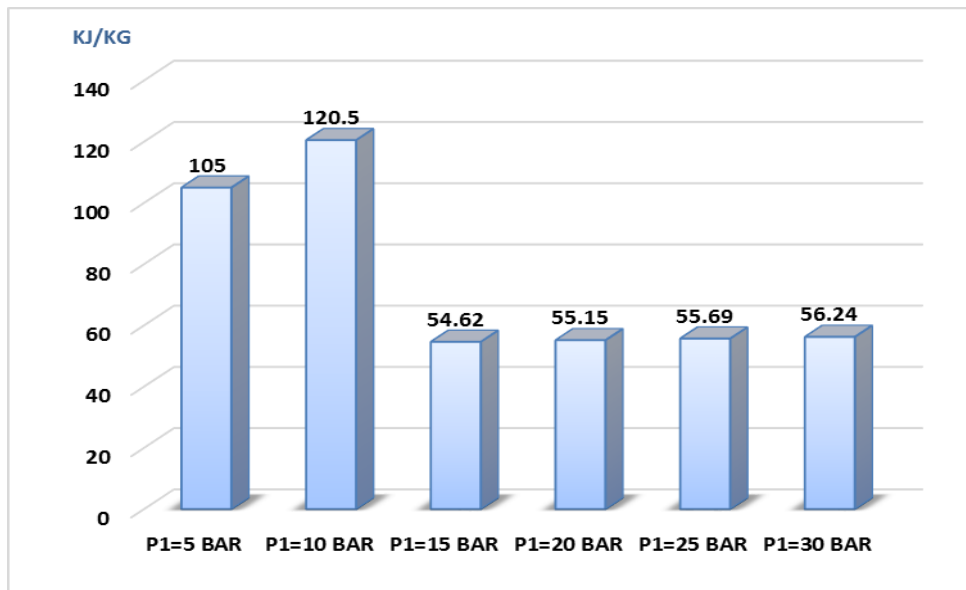


Figura 4.5: Trabajo desarrollado de la turbina a presiones iniciales variables y presión de expansión a 0.25 bar

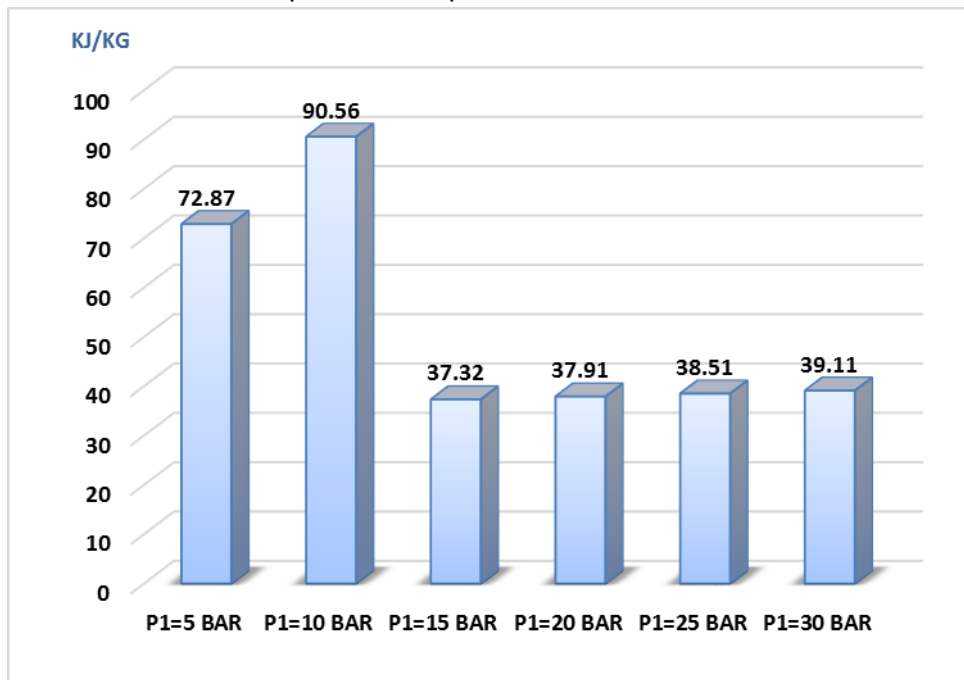


Figura 4.6: Trabajo desarrollado de la turbina a presiones iniciales variables y presión de expansión a 0.65 bar

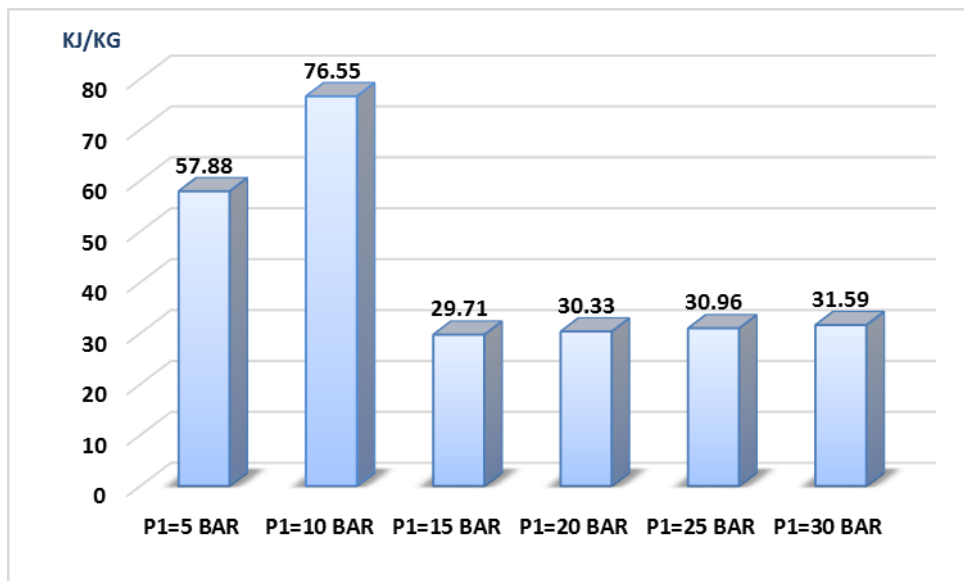


Figura 4.7: Trabajo desarrollado de la turbina a presiones iniciales variables y presión de expansión a 1 bar

Observamos que a una menor presión de expansión, hay un mayor salto entálpico, por lo que el trabajo de la turbina será mayor. Se trabajara con una presión P_2 de 0.65 bar por tener mayor información acerca de esta turbina. (Anexo 05)

Luego de esta evaluación con el refrigerante secundario de isopentano, podemos afirmar que las mejores condiciones para Generar Potencia Eléctrica a Temperaturas de 120°C, y Presión inicial de 10 bar, resulta eficaz un trabajo desarrollado por la turbina a una expansión del fluido de trabajo de 0.25 bar por su mayor salto entálpico. El trabajo desarrollado por la turbina es independiente del flujo másico del refrigerante.

➤ **Determinación del Flujo Másico del Fluido Secundario.**

Determinamos el flujo másico del gas secundario según balance de energía con los datos obtenidos, y datos evaluados con el gas Isobutano, por la cual usaremos la ecuación (3.29) y detallaremos una evaluación con distintos valores de entrada y salida del Fluido Geotermal y Secundario al Intercambiador de Calor.

$$\dot{m}_{fg} * \overline{Cp}_{fg} * (T_a - T_b) = \dot{m}_{f.sec} * \overline{Cp}_{f.sec} * (T_1 - T_4)$$

$$\dot{m}_{f.sec} = \frac{\dot{m}_{fg} * \overline{Cp}_{fg} * (T_a - T_b)}{\overline{Cp}_{f.sec} * (T_1 - T_4)}$$

$$\dot{m}_{f.sec} = \frac{15 \text{ Kg/s} * 4.186 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} * (270^\circ\text{C} - 105^\circ\text{C})}{1.7940 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} * (120^\circ\text{C} - (15.92)^\circ\text{C})}$$

$$\dot{m}_{fg} = 55.48 \text{ Kg/s}$$

Donde:

- El poder calorífico se dimensiona en KJ/Kg°C
- El flujo másico se dimensiona en Kg/s.
- La temperatura se dimensiona en °C.

Este valor es determinado mediante un detallado análisis en el Intercambiador de Calor, que a distintos parámetros obtenemos una variedad de resultados, como flujo másico del refrigerante secundario.

Consideraremos el Calor Específico del fluido geotermal geotermal a 4.186 KJ/Kg°C y del fluido secundario 1.7940 KJ/Kg°C, cual es el valor promedio de los calores específicos a temperaturas de entrada y salida del Intercambiador de Calor ($T_{ent,a}=270^{\circ}\text{C} - T_{sal,b}=105^{\circ}\text{C}$), del fluido geotermal, y $T_1=120^{\circ}\text{C}$, $T_4=15.92^{\circ}\text{C}$, $P_1=20$ bar y $P_2=0.25$ para el refrigerante secundario de trabajo.

Se usa un flujo másico geotermal de 15 Kg/s según Aguas termales y Minerales en el Norte del Perú [2].

Las temperaturas en evaluación se rigen a información fidedigna de estudios geotermales en el Callejón de Huaylas según el Ing, Guillermo Díaz de la Universidad Mayor de San Marco y la industria geotérmica Italiana CESEN [1]. Estos son detallados anteriormente.

Evaluación de la disponibilidad de Flujo Secundario según el flujo geotérmico en la Región Corongo.



Fuente: Elaboración propia

Considerando los parámetros mencionados. Por resultado obtenemos un flujo másico del fluido secundario de 55.57 Kg/s el cual usaremos para determinar la Potencia en la Central. (Anexo 07)

➤ **Potencia de la Turbina**

Determinamos la Potencia de la turbina P_{TV} mediante la ecuación (3.12) usando los datos obtenidos y el caudal del fluido secundario determinado en el ítem anterior.

$$P_{TV} = (h_1 - h_{2r}) * \dot{m}_{f.sec}$$

$$P_{TV} = (144.7 - 41.48)Kj/Kg * 55.48 Kg/s$$

$$P_{TV} = 5024 Kj / s$$

$$P_{TV} = 5024 KW$$

$$P_{TV} = 5.024 MW$$

Donde:

- *La entalpia se dimensiona en KJ/kmol y KJ/Kg*
- *El flujo másico se dimensiona en Kg/s.*
- *La Potencia de la Turbina se dimensiona en KJ/s y KW.*

➤ **Potencia de la Bomba**

Determinamos la Potencia de la bomba P_B mediante la ecuación 3.18 usando el flujo másico del fluido secundario y los datos obtenidos.

$$P_B = (h_{4r} - h_3) * \dot{m}_{f.sec}$$

$$P_B = (-369.2 - (-371|.1))Kj/Kg * 55.48 Kg/s$$

$$P_B = 83.15 Kj / s$$

$$P_B = 83.15 KW$$

Donde:

- *La entalpia se dimensiona en KJ/kmol y KJ/Kg*
- *El flujo másico se dimensiona en Kg/s.*
- *La Potencia de la Bomba se dimensiona en KJ/s y KW.*

➤ **Potencia Neta**

La Potencia Neta es la diferencia entre la potencia que genera la turbina de la central menos la potencia que consumen el total de bombas en la misma central. Según la ecuación 3.23

$$P_{neta} = (P_{TV} - P_B)$$

$$P_{neta} = (5024 \text{ KW} - 83.15 \text{ KW})$$

$$P_{neta} = 4 \text{ 941 KW}$$

Donde:

- *La Potencia de la Turbina se dimensiona en KJ/só KW.*
- *La Potencia de la Bomba se dimensiona en KJ/só KW.*

➤ **Potencia generada**

La determinando la Potencia Generada P_G mediante la ecuación 3.24 considerando la eficiencia mecánica 0.87 y eficiencia de generación de 0.96^[4]

$$P_G = P_{neta} \times \eta_M \times \eta_G$$

$$P_G = 4 \text{ 941 KW} \times 0.87 \times 0.96$$

$$P_G = 4 \text{ 127 KW}$$

Donde:

P_G : Potencia generada por la planta de ciclo Rankine

η_M : Eficiencia mecánica del generador de Potencia Eléctrica

η_G : Eficiencia de generación de Potencia Eléctrica.

➤ **Eficiencia de Planta**

Acto seguido determinamos la Eficiencia de la Planta mediante la ecuación 3.25 considerando la Potencia Generada y la Potencia que se suministra del Fluido Secundario de trabajo por no usarse algún tipo de combustible más que el poder calorífico de la tierra.

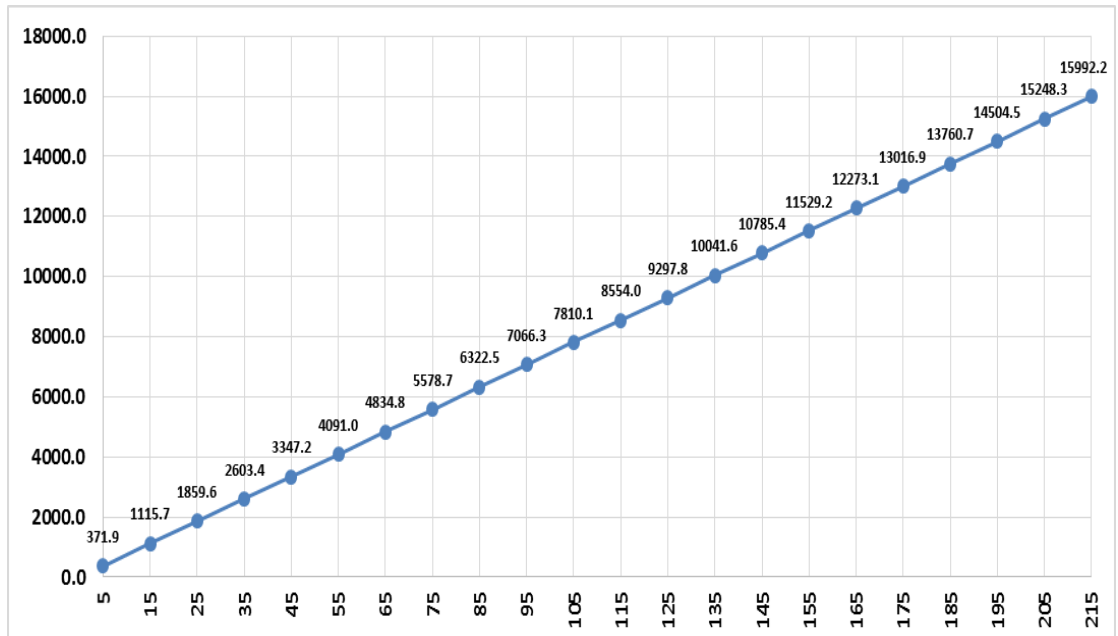
$$\eta_{planta} = \frac{Pot. Generada}{Pot. Suministrada}$$

$$\eta_{planta} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{4r}}$$

$$\eta_{planta} = \frac{(144.7 - 54.19)KJ/Kg}{(144.7 - (-369.6))KJ/Kg}$$

$$\eta_{planta} = 20.01 \%$$

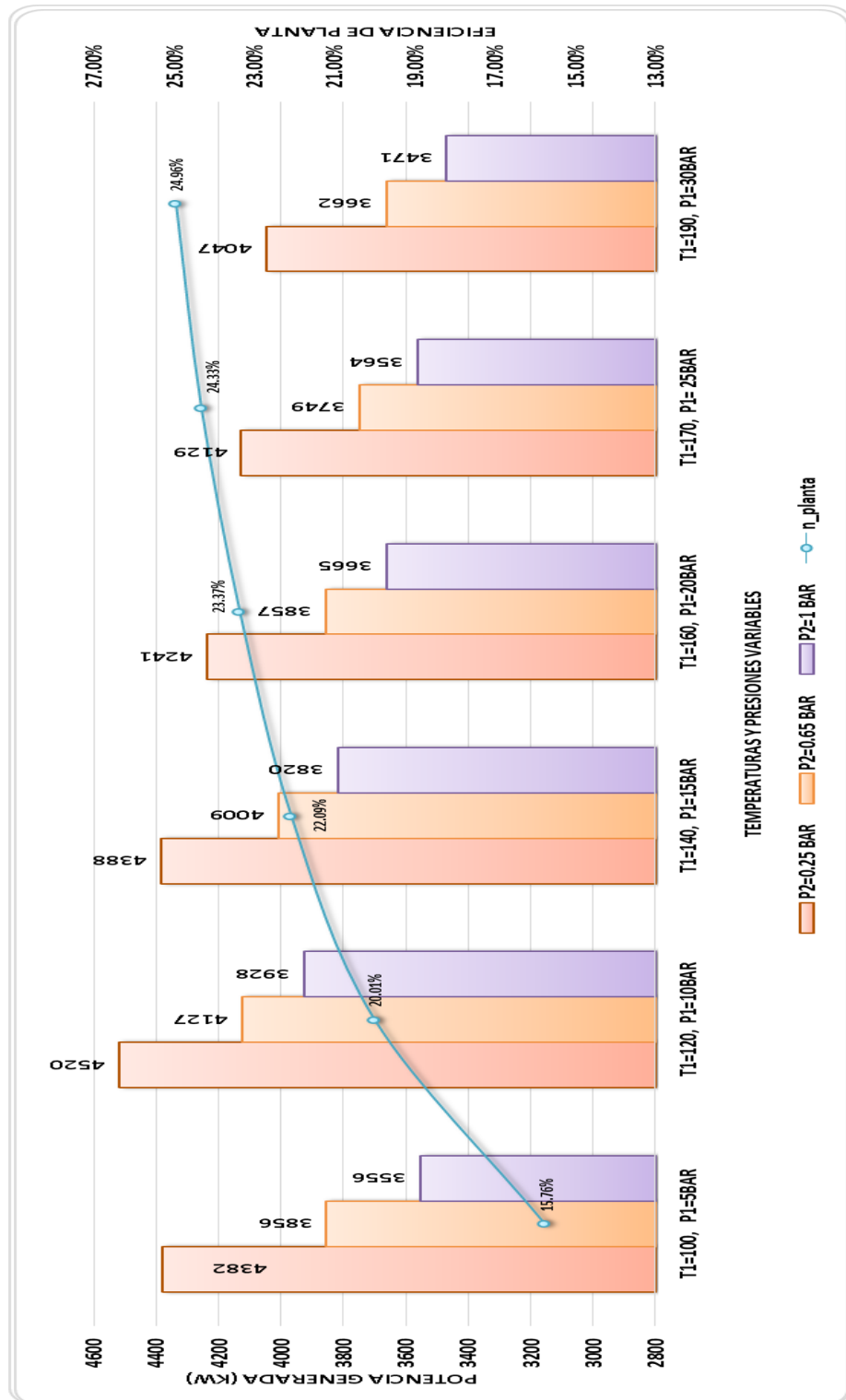
POTENCIA ELECTRICA GENERADA vs FLUJO MASICO DEL REFRIGERANTE



Fuente: Elaboración Propia

Observamos que independientemente del trabajo desarrollado por la turbina que es una constante. El valor de la Potencia Eléctrica Generada lo define el flujo másico del refrigerante, el cual lo obtenemos de un detallado análisis en el Intercambiador de Calor a diversos parámetros de temperaturas. (Anexo 08)

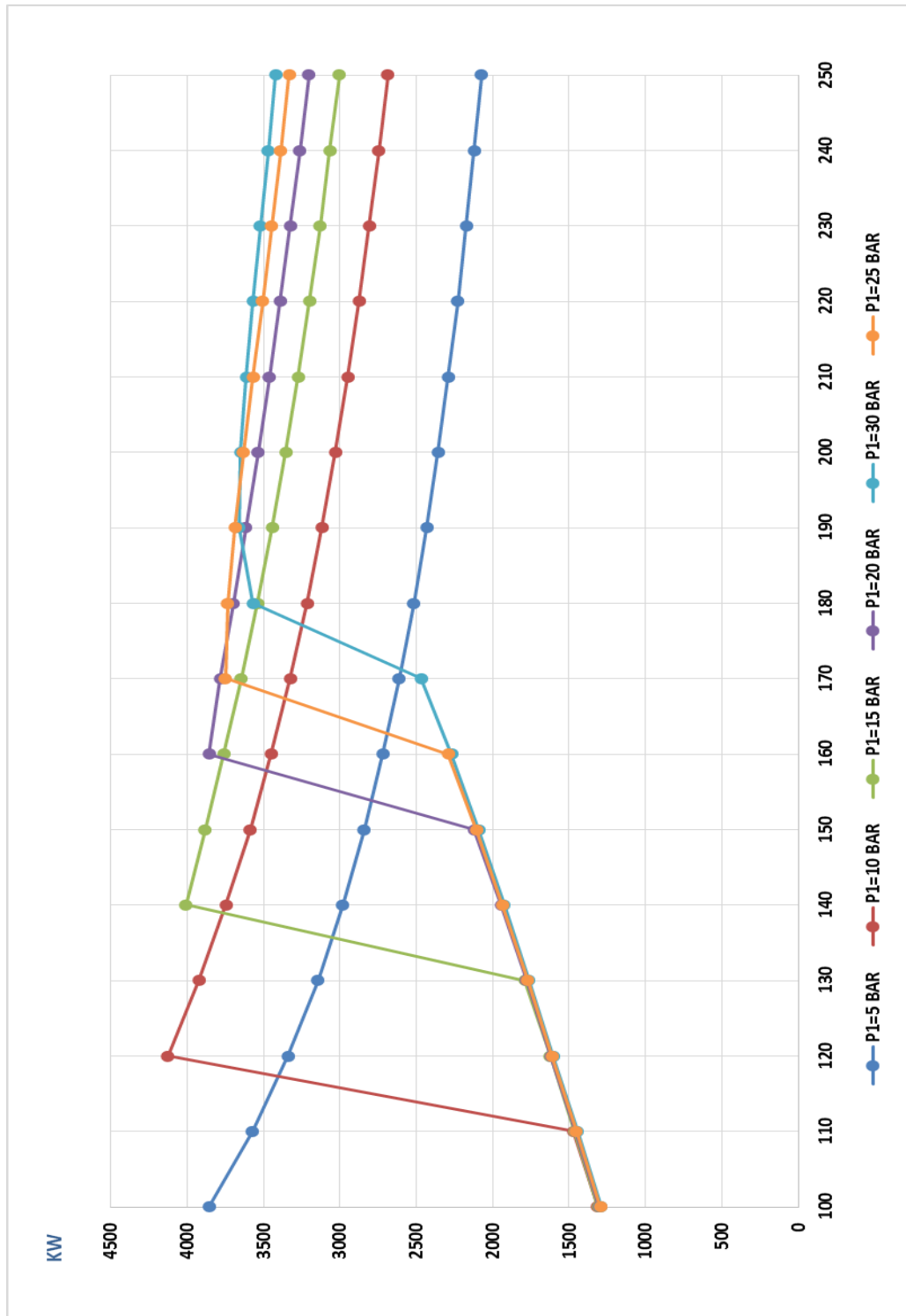
Potencias Eléctricas Generadas vs Temperaturas y Presiones de Entrada variables.



Fuente: Elaboración Propia

Estos son los valores más eficaces respecto a cada parámetro señalado (Anexo 09)

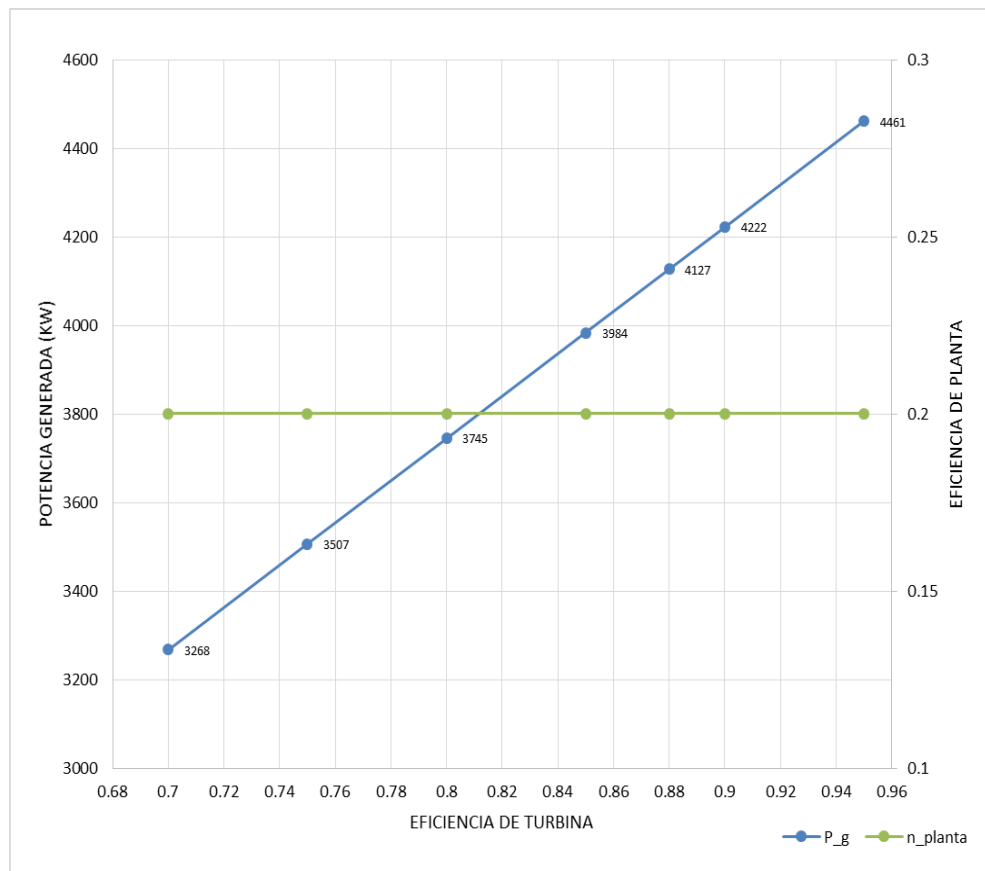
Evaluación de Potencia Generada vs Temperatura y Presión de Entrada variables



Fuente: Elaboración Propia

Cada línea de color representa el comportamiento de la potencia generada respecto a las temperaturas, en la presión de entrada inicial (Anexo 05)

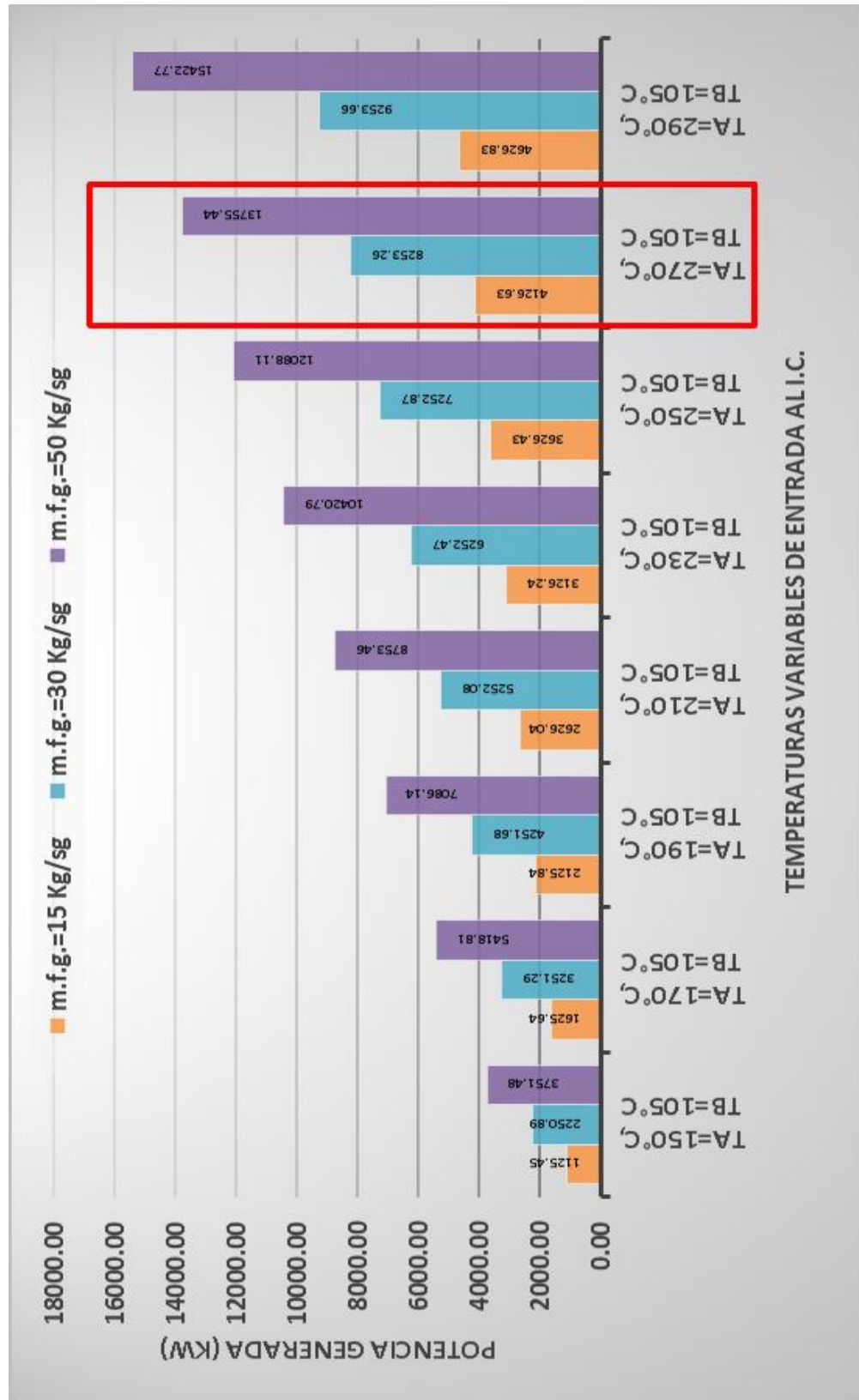
Evaluación de la Potencia Generada vs Eficiencia de la Turbina



Fuente: Elaboración Propia

Observamos que la potencia Generada del ciclo binario es variable respecto a la eficiencia de la turbina, aumentando o disminuyendo proporcionalmente, con los mismos parámetros de $T_1=120$, $P_1=10$ Bar y $P_2=0.65$ Bar. La eficiencia de la planta igual a 20% no varía con estas modificaciones, ya que esta depende la generación de la planta y la potencia calorífica que absorbe. (Anexo 10)

POTENCIAS ELÉCTRICAS GENERADAS vs PARAMETROS EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR Anexo 08



Fuente: Elaboración Propia

**TABLA 4.12. COMPARACION DEL PROYECTO CON LA CENTRAL
MIRAVALLS V – COSTA RICA**

	MIRAVALLS V	PROYECTO
Tipo de tecnología	Ciclo binario	Ciclo binario
Fluido de trabajo	R-245fa	Isobutano
Potencia instalada (MW)	15.5	4.127
Energía anual generada (KWh)	122,200,000.00	32,537,268.00
Costo de generación (US\$/MWh)	44.90	28.92
Vida útil (años)	24.00	20
PRI	7 años	18.67 años
Inversión inicial (US\$)	22,700,00.00	16,430,774.63

Fuente: Elaboración propia

4.4. ESQUEMA DE LA PLANTA DE CICLO BINARIO EN LA REGIÓN CORONGO, ANCASH – PERÚ

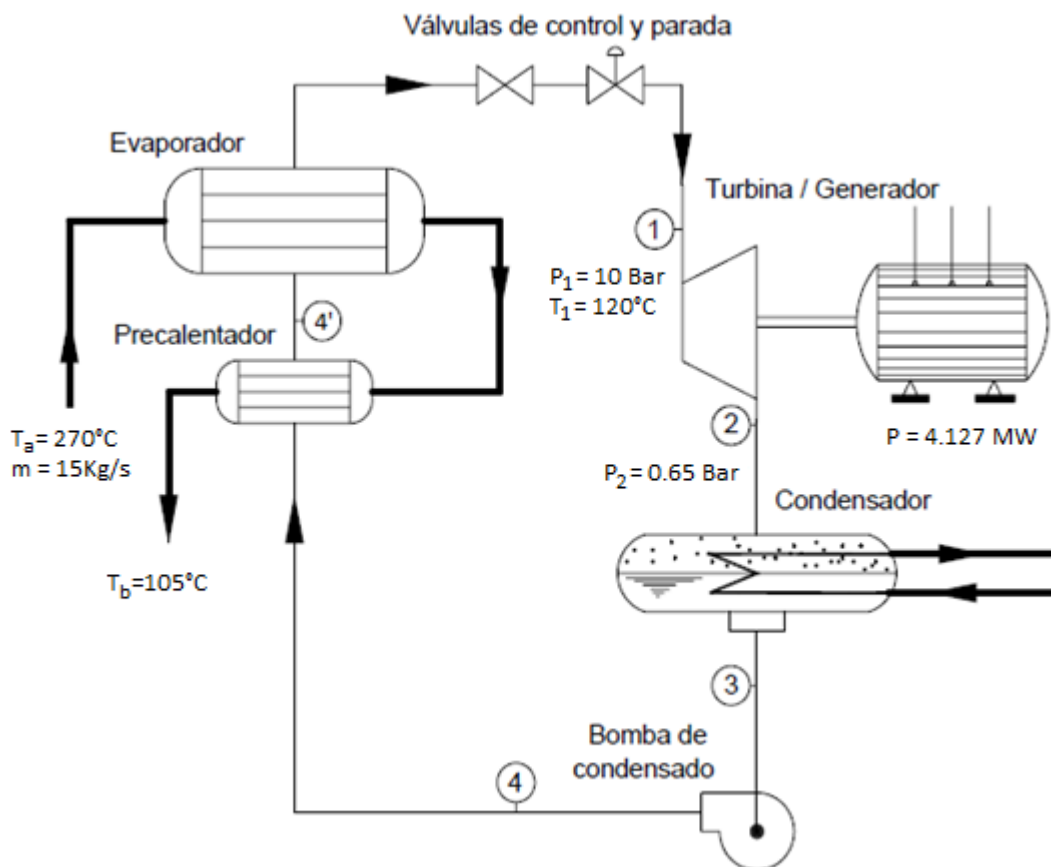


FIGURA 4.9: Planta de Ciclo Rankine Binario en la Región Corongo, Ancash Perú.

FUENTE: Elaboración Propia

4.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica de una planta geotérmica bajo la Ley Orgánica de Recursos Geotérmicos, vigente en el Perú incluye los siguientes ítems:

4.5.1. DESCRIPCIÓN DE LAS INVERSIONES Y COSTOS

TABLA 4.7. Inversión inicial

FASES DE DESARROLLO	DESCRIPCIÓN	MONTO
		INVERSIÓN INICIAL
I	RECONOCIMIENTO	\$ 1,540,000.00
	ESTUDIOS GEOLOGICOS	\$ 400,000.00
	ESTUDIOS GEOFISICOS	\$ 800,000.00
	ESTUDIOS GEOQUIMICOS	\$ 240,000.00
	ESTUDIOS MENORES	\$ 100,000.00
II	EXPLORACIÓN	\$ 4,000,000.00
	AUTORIZACIÓN	\$ -
	PERFORACION DE POZOS EXPLORATORIOS	\$ 4,000,000.00
III	DESARROLLO	\$ 10,890,744.63
	CONCESIÓN	\$ 107,829.15
	PERFORACION DE POZOS PRODUCTORES	\$ 3,000,000.00
	EQUIPAMIENTO DE SUPERFICIE	\$ 3,670,000.00
	EQUIPO DE GENERACION	\$ 3,355,505.00
	OBRAS CIVILES	\$ 165,080.00
	MONTAJE E INSTALACION	\$ 165,080.00
	SUBESTACION Y TRANSFORMADOR	\$ 427,250.47

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.8. Costos anuales

DESCRIPCIÓN	MONTO (US\$/AÑO)
PERSONAL OPERACIÓN DE PLANTA	439,969.56
MATENIMIENTO	150,382.58
ADMINISTRACION Y GASTOS GENERALES	131,990.87
LEYES SOCIALES	186,253.78
INGRESOS DEL ESTADO	32,504.55
TOTAL	941,101.33

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. DESCRIPCIÓN DE LOS INGRESOS

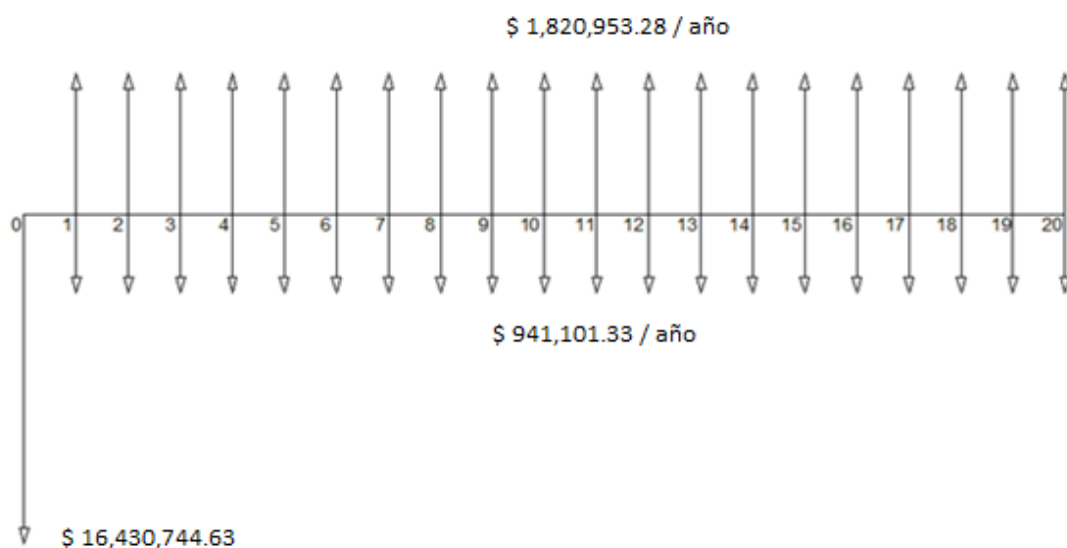
TABLA 4.9.INGRESOS

INGRESO POR VENTA DE ENERGIA	
COSTO HP (US\$/KWh)	0.0541
CONSUMO ANUAL HP (KWh)	5,608,593
TOTAL ENERGIA ANUAL HP (US\$)	303,623.08
COSTO HFP (US\$/KWh)	0.0449
CONSUMO ANUAL HFP (KWh)	26,928,675
TOTAL ENERGIA ANUAL HFP(US\$)	1,207,784.97
TOTAL (US\$)	1,511,408.05
INGRESO POR VENTA DE POTENCIA	
COSTO PROMEDIO (US\$/KW-MES)	6.2504
POTENCIA ANUAL (KW)	4,127
TOTAL (US\$)	309,545.24
TOTAL DE INGRESOS (US\$)	1,820,953.28

Fuente: Elaboración propia

4.6. DIAGRAMA DE FLUJO DE EFECTIVO

En el diagrama de flujo de efectivos se muestran los montos totales de la inversión, costos anuales e ingresos totales. Para los cálculos económicos se utilizará la tasa de descuento de 12%.



4.6.1. CÁLCULO DEL VAN

Para el cálculo del VAN se emplean datos de las tablas de “Flujo de efectivo discreto: factores de interés compuesto” del libro de Ingeniería Económica de Blank – Tarquin^[17], de donde se obtiene el valor para:

$$P/A, 12\%, 20 = 7.4694$$

Reemplazando datos en la ecuación (3.29):

$$VAN = -16,430,744.63 - 941,101.33(P/A, 12\%, 20) + 1,820,953.28(P/A, 12\%, 20)$$

$$VAN = -16,430,744.63 - 941,101.33(7.4694) + 1,820,953.28(7.4694)$$

$$VAN = -9,858,740.06$$

4.6.2. CÁLCULO DEL TIR

Para el cálculo del TIR se sigue el procedimiento explicado en el punto 3.30 de la siguiente manera:

$$16,430,744.63 = -941,101.33(P/A, 12\%, 20) + 1,820,953.28(P/A, 12\%, 20)$$

$$0 = -16,430,744.63 - 941,101.33(20)(P/F, i, 20) + 1,820,953.28(20)(P/F, i, 20)$$

$$(P/F, i, 20) = \frac{16,430,744.63}{-18,822,026.57 + 36,419,065.65}$$

$$(P/F, i, 20) = 0.93$$

Se aproxima que está entre el 0.25% y 0.5%. Tomamos el 0.5% para calcular la tasa de retorno real

$$0 = -16,430,744.63 - 941,101.33(P/A, 0.5\%, 20) + 1,820,953.28(P/A, 0.5\%, 20)$$

De tablas de flujo de efectivo obtenemos para:

$$(P/A, 0.5\%, 20) = 18.9874$$

$$0 = -16,430,744.63 - 941,101.33(18.9874) + 1,820,953.28(18.9874)$$

$$0 < 275,356.29$$

Como el resultado es un valor positivo elevado, entonces procedemos a probar con 0.75%

$$0 = -16,430,744.63 - 941,101.33(P/A, 0.75\%, 20) + 1,820,953.28(P/A, 0.75\%, 20)$$

De tablas de flujo de efectivo obtenemos para:

$$(P/A, 0.75\%, 20) = 18.5080$$

$$0 = -16,430,744.63 - 941,101.33(18.5080) + 1,820,953.28(18.5080)$$

$$0 < -146,444.74$$

A continuación interpolamos los valores entre 0.5% y 0.75%

$$i = 3 - \frac{(275,356.29 - 0)(0.5 - 0.75)}{275,356.29 - (-146,444.74)}$$

$$i = 0.66\%$$

4.6.3. CÁLCULO DEL PRI

$$PRI = \frac{INVERSION(US\$)}{INGRESOS(US\$/AÑO) - EGRESOS(US\$/AÑO)}$$

$$PRI = \frac{16,430,744.63}{1,820,953.28 - 941,101.33}$$

$$PRI = 18.67 \text{ AÑOS}$$

4.6.4. COSTO POR POTENCIA INSTALADA

$$CPI = \frac{INVERSIÓN INICIAL (US\$)}{POTENCIA INSTALADA (KW)}$$

$$CPI = \frac{16,430,744.63}{4127}$$

$$CPI = 3,981.28 \text{ US\$/KW}$$

4.6.5. COSTO DE GENERACIÓN

$$CG = \frac{941,101.43 \text{ \$/año}}{4127 \text{ MW} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times 0.9}$$

$$CG = 28.92 \text{ US\$/MWh}$$

TABLA 4.10. RESUMEN DEL ANALISIS ECONOMICO

RESUMEN ECONÓMICO	
POTENCIA (MW)	4.127
INVERSION INICIAL (US\$)	16430744.63
VIDA ÚTIL (AÑOS)	20
INGRESOS ANUALES (US\$/AÑO)	1820953.28
EGRESOS ANUALES (US\$/AÑO)	941101.33
VAN (US\$)	-9858740.06
TIR (US\$)	0.66%
PRI (AÑOS)	18.67

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.11. COMPARACIÓN ECONÓMICA PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE GENERACIÓN (20 años)

RESUMEN ECONÓMICO			
POTENCIA (MW)	4.127	8.254	13.756
INVERSION INICIAL (US\$)	16430744.63	20206566.09	20727679.82
VIDA ÚTIL (AÑOS)	20	20	20
INGRESOS ANUALES (US\$/AÑO)	1820953.28	3641906.56	6069550.12
EGRESOS ANUALES (US\$/AÑO)	941101.33	907940.00	2888760.00
VAN (US\$)	-9858740.06	214643.04	42888122.61
TIR (US\$)	0.66%	12.17%	14.28%
PRI (AÑOS)	18.67	7.39	6.52

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.12 se muestra la evaluación económica para las distintas potencias eléctricas obtenidas al variar el flujo másico del fluido geotérmico de 15, 30 y 50 Kg/s respectivamente. En esta tabla se demuestra que al aumentar el flujo másico del fluido geotérmico no solo se incrementa la potencia eléctrica sino que también incrementa sus ganancias y por lo tanto el proyecto se vuelve económicamente rentable.

Se ha considerado el caudal de 15 Kg/s, ya que es el caudal que sale naturalmente hacia la superficie de acuerdo a estudios realizados con anterioridad.

TABLA 4.12. COMPARACIÓN ECONÓMICA PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE GENERACIÓN (30 años)

RESUMEN ECONÓMICO			
POTENCIA (MW)	4.13	8.25	13.76
INVERSION INICIAL (US\$)	16,430,744.63	20,206,566.09	20,727,679.82
VIDA ÚTIL (AÑOS)	30	30	30
INGRESOS ANUALES (US\$/AÑO)	1,820,953.28	3,641,906.56	6,069,550.12
EGRESOS ANUALES (US\$/AÑO)	941,101.33	907,940.00	2,888,760.00
VAN (US\$)	-9,343,375.27	1,816,037.55	74,696,023.83
TIR (US\$)	3.38%	13.20%	15.12%
PRI (AÑOS)	18.67	7.39	6.52

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla se muestra la misma evaluación económica que en la tabla anterior, pero considerando un periodo de evaluación de 30 años, que es el tiempo de concesión otorgado de acuerdo a ley.

TABLA 4.13. COSTO DE GENERACIÓN DE DIFERENTES CENTRALES DE GENERACIÓN

TIPO DE PLANTA	CAPACIDAD (MW)	COSTO PROMEDIO DE GENERACIÓN (US\$/KWh)
Hidroeléctrica	5 a 70	0.017 a 0.07
Hidroeléctrica	100	0.03 a 0.1
Geotérmica (separador)	15 a 55	0.035 a 0.045
Cogeneración (industria azucarera)	2 a 30	0.035 a 0.058
Geotérmica (binario)	10	0.042
Eólica	variable	0.045 a 0.073
Vapor (carbón)	30	0.067
Diesel	30	0.077
Vapor (petróleo)	30	0.085
Dendrotermales	3 a 10	0.086 a 0.107
Turbina de gas (petróleo)	36	0.113
Solar - Termal (67% solar, 33% fósil)	35 a 90	0.125 a 0.146

Fuente: The Outlook of Renewable Energy Development in the Americas' Power Sector

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- ❖ La trayectoria de estudios en nuestro país por grandes entidades geotermales como CESEN, OLADE, MAPFRE, INGEMET identifican que la región Corongo con sus 27 057 Km² presenta manifestaciones de fluido geotermal a temperaturas superficiales de 16°C a 60°C y temperaturas de 180°C a 290°C bajo la corteza terrestre con un flujo másico mayor a los 15 kg/s de acuerdo a los estudios realizados por INGEMET [2].
- ❖ Este yacimiento hidrotermal con alta solución de aguas acidas, saladas, bicarbonatadas con emisiones de gases de H₂S y CO₂, también tiene conductividad eléctrica entre 100 y valores mayores a 20000 µs/cm. y el pH entre 3,2 y 9
- ❖ El presente proyecto de Generación de Potencia Eléctrica mediante una Central de tipo Binario tiene como principio de funcionamiento el Ciclo Rankine Simple, teniendo todos los componentes mecánicos como son turbina, condensador, bomba e intercambiador de calor para aprovechar el poder calorífico del interior de la tierra. Por lo que se usó la metodología y cálculos convencionales para determinar los resultados.
- ❖ Para el proyecto de la Central Geotérmica usamos como fluido secundario de trabajo al Isopentano, por tener una temperatura de ebullición inferior al agua y facilidad de condensación con métodos convencionales. Con parámetros de temperatura de 120°C y presión de entrada 10 bar, y presión de expansión de 0.65 bar.

- ❖ El flujo másico del isopentano de 55.48 Kg/s ha sido determinado según detallada evaluación en diversos refrigerantes siendo este compuesto el más utilizado en generación de potencia eléctrica y el menos contaminante. Hay otros refrigerantes de igual o mayor potencial aprovechable, pero su temperatura de condensación suele ser inferior a cero lo cual hace difícil su condensación a diferencia del isopentano.
- ❖ Cabe recalcar que el trabajo desarrollado por la turbina es un valor constante, entonces la potencia eléctrica que se genera depende en esencia del flujo másico del fluido secundario que se determina.
- ❖ El flujo másico del fluido secundario se determina a partir del balance de energía en el intercambiador de calor, considerando las temperaturas de entrada y salida tanto del fluido geotermal como del fluido secundario. Se menciona que el flujo másico geotermal es una variable que de acuerdo a su manipulación, también varía el flujo másico del fluido secundario, por lo tanto este, depende del caudal del fluido geotermal que presente el yacimiento.
- ❖ Según el estudio determinado demostramos que el proyecto es factible técnicamente con un Potencial Eléctrico de 4.127 MW y eficiencia de 20.01%. convirtiéndose en base para el desarrollo en la Región Corongo-Ancash Perú

- ❖ Con la manipulación del flujo másico del fluido geotermal, podremos elevar grandemente la generación de potencia eléctrica que ayudará en la rentabilidad económica del proyecto.
- ❖ De acuerdo con el análisis económico realizado se podría concluir que el proyecto no es económicamente viable por tener una inversión inicial elevada de US\$ 16,430,744.63 por conceptos de reconocimiento, exploración y desarrollo de la central. Ingresos de US\$ 1,820,953.28 por concepto de venta de energía y potencia a precio de Barra de la Sub-Estación de Huallanca. Costos anuales de US\$ 941,101.33 por concepto de salarios del personal, trámites administrativos, mantenimiento e ingresos para el estado por lo que se requeriría alguna subvención por parte del mismo.
- ❖ Por lo tanto este proyecto de recursos de energías renovables puede ser factible mediante la Subasta de Energía, los cuales son proyectos que el estado subvenciona, y se fundamenta según la Ley de Promoción de Recursos Renovables DL 1002-2008
- ❖ El proyecto se vuelve económicamente viable al aumentar la producción de potencia eléctrica (tabla 4.12) y también disminuye el tiempo de recuperación de la inversión, sin embargo, se deben realizar estudios de exploración que incluyan perforación de pozos para determinar con mayor exactitud la capacidad del yacimiento geotérmico.

CONCLUSIONES

- ❖ La región Corongo presenta yacimientos hidrotermal con alta solución de aguas acidas, saladas, bicarbonatadas con emisiones de gases de H₂S y CO₂ a temperaturas superficiales de 16°C a 60°C y temperaturas de 180°C a 290°C bajo la corteza terrestre con un flujo másico mayor a los 15 kg/s. Según, Aguas Termales y Minerales en el Norte del Perú. Huamaní, A. (2000)
- ❖ Se usó como fluido secundario de trabajo al Isopentano, a parámetros de T₁=100°C, P₁=10 Bar, P₂=0.65 Bar; por tener características optimas de trabajo como son, baja temperatura de ebullición 28°C y condensación superior a 0°C. No es corrosivo ni contaminante; razones por la cual es el refrigerante más usado en centrales de ciclo binario.
- ❖ La potencia eléctrica calculada según las características del fluido geotermal en la Región es de 4127 KW con una eficiencia de planta de 20 %.
- ❖ De acuerdo con el análisis económico el proyecto no es económicamente viable para una potencia de 4.127 MW, sin embargo, al aumentar la potencia el proyecto se vuelve viable.

RECOMENDACIONES

- Se debe aprovechar el recurso natural geotérmico existente, ya que contamos con numerosos yacimientos y grandes potenciales caloríficos en distintas regiones del Perú para sus distintas formas de uso.
- Debería haber instituciones especializadas para formar profesionales en el sector geotérmico para dar inicio en esta nueva era de las energías limpias, el reconocimiento a la energía geotérmica en el Perú e iniciar estudios más detallados en distintos yacimientos.
- Pese a la inviable rentabilidad que existe en el proyecto geotérmico, el estado debe subvencionar el proyecto mediante una Subasta de Energía, según lo fundamenta la ley de promoción de recursos energéticos renovables D.L. 1002-2008.
- Para llegar a la viabilidad del proyecto con los mismos parámetros de presión y temperaturas, es necesario ampliar el flujo másico del fluido secundario, por lo que en consecuencia se requiere la ampliación del flujo másico del fluido geotérmico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Diaz, G. (n.d.). Geothermal Resources in Peru. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido el 14 de enero del 2015, de <http://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/EGC/szeged/O-4-02.pdf>.
2. Huamaní, A. (2000). Aguas Termales y Minerales en el Norte del Perú. Serie D: Estudios Regionales. Boletín N° 22.
3. Steinmüller, K., Huamaní, A. (1999). Aguas Termales y Minerales en el Centro del Perú. Serie D: Estudios Regionales. Boletín N° 21.
4. Córdova, L. F. (2007). Diseño de una planta geotérmica de generación eléctrica de 50MW. Tesis para optar el título profesional de ingeniero mecánico electricista. Universidad Nacional de Ingeniería.
5. Vargas, V. (n.d.). Mapa geotérmico del Perú. Obtenido el 20 de agosto del 2013, de http://www.cprm.gov.br/cong_lat_peru/paper/D/D27.swf
6. Ministerio de Energía y Minas (2011). El Perú tiene una gran disponibilidad de recursos geotérmicos. Obtenido el 15 de noviembre de 2013, de <http://www.minem.gob.pe/descripcion.php?idSector=6&idTitular=3860>
7. M. Moran & H. Shapiro. (2006). Fundamentos de Termodinámica Técnica (5ed.). Inglaterra: John Wiley& Son Ltd.
8. D. Kern. (1999). Procesos de transferencia de Calor (1ed.). México: McGraw Hill.
9. MEM & JICA. (2012). Plan Maestro para el Desarrollo de la Energía Geotérmica en el Perú. Informe Final.
10. Gil, G. (2008). Energías del siglo XXI de las energías fósiles a las renovables. Madrid: Mundo-Prensa.
11. Gonzales, J. (2009). Energías renovables. Barcelona: REVERTÉ S.A.

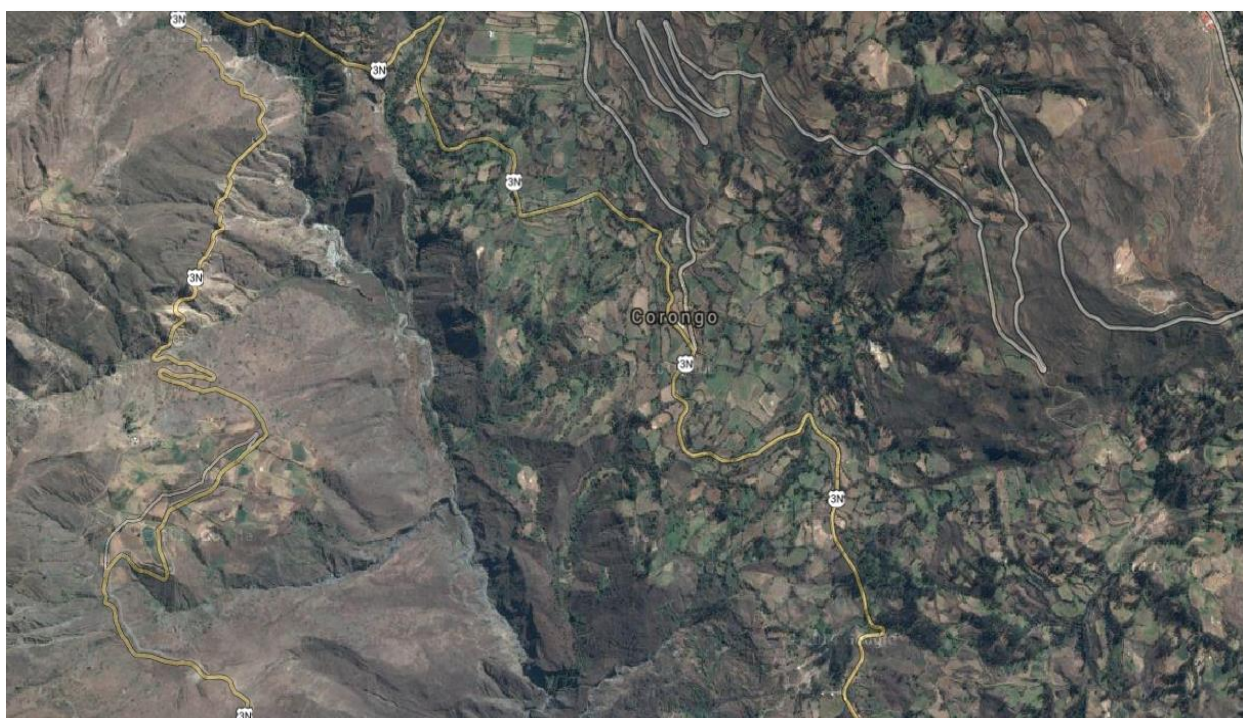
12. Alonso, F. R. (1993). Sistemas geotérmicos de roca seca y caliente: Una fuente de energía no convencional. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
13. Galante, A. (2007). Análisis de la viabilidad Técnica-Económica de una Planta Geotérmica para la Generación de Electricidad en Latinoamérica. Tesis de Titulación. Universidad Pontificia Comillas.
14. Lacourt, O.E. (2010). Análisis de Diversas Alternativas de Generación Eléctrica con Fuentes Geotermales en Chile. Tesis de Titulación. Universidad de Chile.
15. Aranda, E., del Valle, Y. Mazurett, M., Moya, O., Palma, R., Torres, N. & Vargas, L. (2003). Simulación Preliminar de Desempeño Operacional y Comercial de Centrales de Generación Eléctrica Geotérmicas y Eólicas. Obtenido el 07 de marzo de 2014, de ...
16. OSINERGMIN. (2015). RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO OSINERMIN N° 081-2015-OS/CD. Publicado el 27 de abril de 2015.
17. Blank, L & Tarquin, A. (2000). INGENIERIA ECONOMICA. (4ed.). Santafe de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana S.A.
18. Holdmann, G., Benoit, D. & Blackwell, D. (2007) Integrated Geoscience Investigation and Geothermal Exploration at Chena Hot Springs, Alaska. Informe Final. U.S. Department of Energy Golden Field Office Under Award.
19. Sanchez, J., Sanz L. & Ocaña, L. (2011). Evaluación del Potencial de Energía Geotérmica: Estudio Técnico PER 2011-2020. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
20. Hance, C.N. (2005). Factors Affecting Costs of Geothermal Power Development. Geothermal Energy association.

ANEXOS

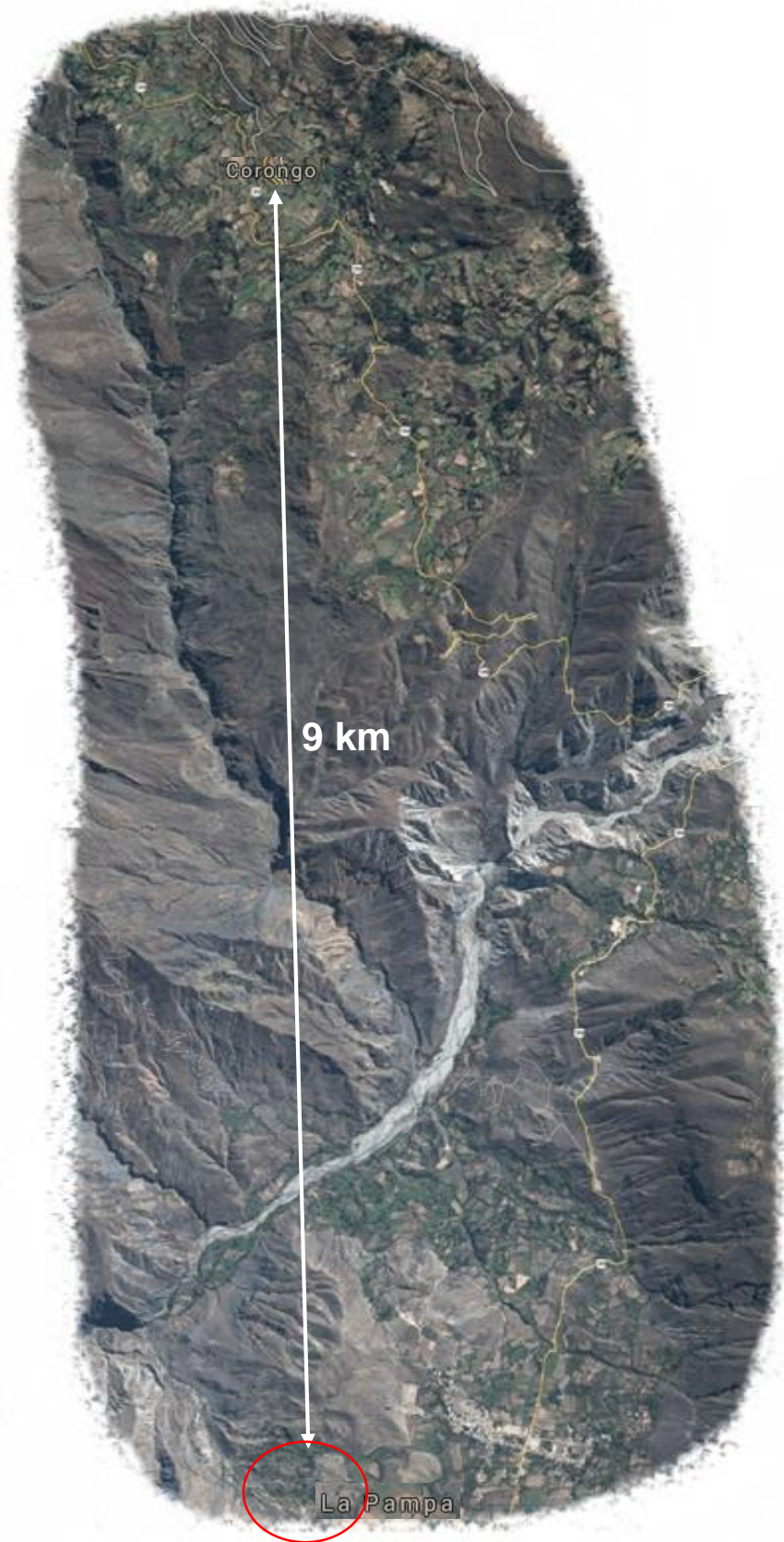
ANEXO 01: GLOSARIO DE TÉRMINOS

- ❖ **Modelo energético:** modelos de consumo de energía basados en el aprovechamiento de la energía.
- ❖ **Geotermia:** rama de la ciencia geofísica que se dedica al estudio de las condiciones térmicas de la Tierra.
- ❖ **Cámaras magmáticas:** depósito subterráneo de roca fundida llamada magma.
- ❖ **Hidrotermia:** Fuente hidrotermal, también traducida a veces como respiradero hidrotermal o fumarola.
- ❖ **Energía calorífica:** Manifestación de la energía cinética de las partículas, átomos y moléculas, de que está compuesto el cuerpo en cuestión.
- ❖ **Elevadores por Presión:** Equipos que se utilizan para aumentar la presión de los fluidos.
- ❖ **Actividad Tectónica:** Teoría geológica que explica la forma de superficies de la Tierra y a los desplazamientos de los mantos terrestres.
- ❖ **Vapor Seco:** Vapor totalmente libre de agua en estado líquido. Debe ser gas totalmente.
- ❖ **Vapor Húmedo:** Vapor producido a la temperatura de ebullición corresponde a su presión absoluta. Puede ser húmedo o seco.
- ❖ **Ciclo Rankine:** Ciclo termodinámico que tiene como objetivo la conversión de calor en trabajo.
- ❖ **Geotermometría:** Es la ciencia que estudia los fenómenos térmicos que ocurren en el interior del planeta.

ANEXO 02: MAPA SATELITAL DE LA REGIÓN CORONGO, ANCASH-PERU



FUENTE: Google Map



FUENTE: Google Map

ANEXO 03: FOTOS DE LAS FUENTES TERMALES EN ANCASH



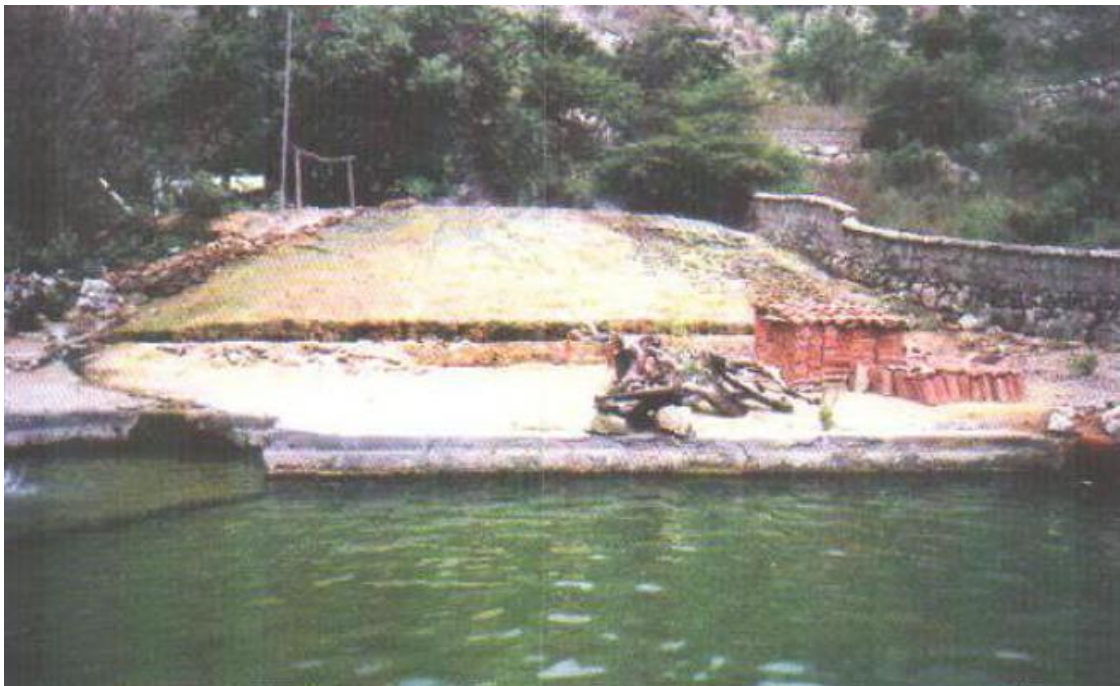
Fuente Hualcán (poza natural en pleno cauce del río Hualcán)



Fuente Huancarhuas (infraestructura semidestruida y canal deshabilitado)



Fuente La Pampa (sedimentación de azufre)



Fuente Aquilina (colina formada por sínter y piscina de concreto)



Fuente Pacatqui (poza rústica y sínter cubierto por algas)



Fuente Huandoval (dos piscinas de concreto)



Fuente Cochaconchucos (dos piscinas de concreto a la margen derecha del rio)



Fuente El Edén (colina de sínter)

ANEXO 01: TABLAS DE DATOS PARA LA EVALUACION DEL REFRIGERANTE DE TRABAJO A DISTINTOS PARAMETROS DE TEMPERATURAS Y PRESIONES DE ENTRADA Y UNA PRESION DE EXPANSION CONSTANTE.

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1
100	5	0.25	98.07	53.9	5286	39.64	5246	4382	0.2064	-7.045	83.77
110	5	0.25	101.5	49.3	5006	36.25	4970	4151	0.2054	-7.045	83.77
120	5	0.25	105	45.42	4768	33.4	4734	3954	0.2043	-7.045	83.77
130	5	0.25	108.3	42.11	4561	30.96	4530	3783	0.2031	-7.045	83.77
140	5	0.25	111.6	39.25	4381	28.86	4352	3635	0.2018	-7.045	83.77
150	5	0.25	114.9	36.75	4222	27.02	4195	3504	0.2004	-7.045	83.77
160	5	0.25	118.1	34.55	4081	25.41	4056	3387	0.199	-7.045	83.77
170	5	0.25	121.3	32.6	3955	23.97	3931	3283	0.1975	-7.045	83.77
180	5	0.25	124.5	30.86	3842	22.69	3819	3190	0.196	-7.045	83.77
190	5	0.25	127.7	29.29	3740	21.54	3718	3105	0.1944	-7.045	83.77
200	5	0.25	130.8	27.88	3647	20.5	3626	3029	0.1928	-7.045	83.77
210	5	0.25	133.9	26.6	3562	19.56	3543	2959	0.1913	-7.045	83.77
220	5	0.25	137.1	25.42	3485	18.7	3466	2895	0.1897	-7.045	83.77
230	5	0.25	140.2	24.35	3413	17.91	3395	2836	0.1881	-7.045	83.77
240	5	0.25	143.3	23.37	3347	17.18	3330	2781	0.1865	-7.045	83.77
250	5	0.25	146.3	22.46	3287	16.51	3270	2731	0.1849	-7.045	83.77

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1
100	10	0.25	38.8	53.97	2094	81.47	2013	1681	0.1724	-6.81	115.8
110	10	0.25	46.09	49.36	2275	74.5	2201	1838	0.1846	-6.81	115.8
120	10	0.25	120.5	45.47	5480	68.64	5411	4520	0.2429	-6.81	115.8
130	10	0.25	125.4	42.15	5285	63.63	5222	4361	0.2421	-6.81	115.8
140	10	0.25	130	39.29	5108	59.3	5048	4216	0.241	-6.81	115.8
150	10	0.25	134.5	36.78	4947	55.52	4891	4085	0.2398	-6.81	115.8
160	10	0.25	138.8	34.58	4801	52.19	4748	3966	0.2384	-6.81	115.8
170	10	0.25	143.1	32.63	4668	49.25	4619	3858	0.2369	-6.81	115.8
180	10	0.25	147.2	30.88	4547	46.61	4501	3759	0.2353	-6.81	115.8
190	10	0.25	151.3	29.31	4437	44.25	4393	3669	0.2337	-6.81	115.8
200	10	0.25	155.4	27.9	4336	42.11	4294	3586	0.232	-6.81	115.8
210	10	0.25	159.4	26.61	4243	40.17	4202	3510	0.2302	-6.81	115.8
220	10	0.25	163.4	25.44	4157	38.4	4119	3440	0.2285	-6.81	115.8
230	10	0.25	167.3	24.37	4078	36.78	4041	3375	0.2267	-6.81	115.8
240	10	0.25	171.3	23.38	4004	35.29	3969	3315	0.2249	-6.81	115.8
250	10	0.25	175.2	22.47	3936	33.92	3902	3259	0.2232	-6.81	115.8

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1
100	20	0.25	40.01	54.12	2165	165.5	2000	1670	0.1787	-6.34	154.1
110	20	0.25	47.23	49.48	2337	151.3	2186	1826	0.1903	-6.34	154.1
120	20	0.25	55.15	45.58	2514	139.3	2374	1983	0.2018	-6.34	154.1
130	20	0.25	63.81	42.24	2696	129.2	2566	2144	0.2131	-6.34	154.1
140	20	0.25	73.3	39.36	2885	120.3	2765	2309	0.2244	-6.34	154.1
150	20	0.25	83.79	36.85	3088	112.7	2975	2485	0.2358	-6.34	154.1
160	20	0.25	149.6	34.64	5184	105.9	5078	4241	0.2728	-6.34	154.1
170	20	0.25	156.5	32.68	5115	99.92	5015	4189	0.2719	-6.34	154.1
180	20	0.25	162.7	30.93	5034	94.56	4939	4125	0.2708	-6.34	154.1
190	20	0.25	168.6	29.36	4948	89.76	4859	4058	0.2694	-6.34	154.1
200	20	0.25	174.1	27.94	4864	85.41	4779	3991	0.2679	-6.34	154.1
210	20	0.25	179.5	26.65	4782	81.47	4701	3926	0.2662	-6.34	154.1
220	20	0.25	184.7	25.47	4704	77.88	4626	3864	0.2645	-6.34	154.1
230	20	0.25	189.8	24.4	4629	74.59	4555	3804	0.2627	-6.34	154.1
240	20	0.25	194.8	23.41	4559	71.57	4487	3748	0.2609	-6.34	154.1
250	20	0.25	199.7	22.5	4492	68.78	4423	3694	0.259	-6.34	154.1

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1
100	15	0.25	39.4	54.05	2130	123.4	2006	1676	0.1755	-6.575	137.4
110	15	0.25	46.66	49.42	2306	112.8	2193	1832	0.1875	-6.575	137.4
120	15	0.25	54.62	45.53	2487	104	2383	1990	0.1992	-6.575	137.4
130	15	0.25	63.36	42.2	2674	96.35	2577	2152	0.2108	-6.575	137.4
140	15	0.25	135.9	39.33	5343	89.79	5254	4388	0.2613	-6.575	137.4
150	15	0.25	141.9	36.82	5224	84.07	5140	4293	0.2605	-6.575	137.4
160	15	0.25	147.4	34.61	5103	79.03	5024	4196	0.2594	-6.575	137.4
170	15	0.25	152.7	32.65	4987	74.56	4912	4103	0.2581	-6.575	137.4
180	15	0.25	157.8	30.91	4876	70.57	4805	4013	0.2567	-6.575	137.4
190	15	0.25	162.7	29.34	4772	66.98	4705	3929	0.2551	-6.575	137.4
200	15	0.25	167.4	27.92	4675	63.75	4611	3851	0.2535	-6.575	137.4
210	15	0.25	172.1	26.63	4584	60.81	4523	3778	0.2517	-6.575	137.4
220	15	0.25	176.7	25.46	4499	58.13	4441	3709	0.25	-6.575	137.4
230	15	0.25	181.3	24.38	4420	55.67	4364	3645	0.2481	-6.575	137.4
240	15	0.25	185.8	23.39	4346	53.42	4293	3585	0.2463	-6.575	137.4
250	15	0.25	190.2	22.48	4277	51.34	4225	3529	0.2445	-6.575	137.4

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1
100	25	0.25	40.61	54.19	2201	207.6	1993	1665	0.1819	-6.106	167.9
110	25	0.25	47.81	49.54	2369	189.8	2179	1820	0.1932	-6.106	167.9
120	25	0.25	55.69	45.63	2541	174.8	2366	1976	0.2044	-6.106	167.9
130	25	0.25	64.29	42.29	2719	162	2557	2135	0.2155	-6.106	167.9
140	25	0.25	73.68	39.4	2903	151	2752	2299	0.2265	-6.106	167.9
150	25	0.25	83.98	36.88	3098	141.3	2956	2469	0.2375	-6.106	167.9
160	25	0.25	95.47	34.67	3310	132.8	3177	2654	0.2487	-6.106	167.9
170	25	0.25	154.7	32.71	5060	125.3	4934	4121	0.2812	-6.106	167.9
180	25	0.25	163.5	30.95	5062	118.6	4944	4129	0.2807	-6.106	167.9
190	25	0.25	170.8	29.38	5019	112.6	4907	4098	0.2797	-6.106	167.9
200	25	0.25	177.4	27.96	4960	107.1	4853	4053	0.2784	-6.106	167.9
210	25	0.25	183.6	26.67	4896	102.2	4793	4003	0.2769	-6.106	167.9
220	25	0.25	189.5	25.49	4829	97.66	4731	3952	0.2753	-6.106	167.9
230	25	0.25	195.1	24.41	4763	93.53	4670	3900	0.2735	-6.106	167.9
240	25	0.25	200.6	23.42	4699	89.74	4609	3850	0.2717	-6.106	167.9
250	25	0.25	206	22.51	4637	86.24	4551	3801	0.2699	-6.106	167.9

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1
100	30	0.25	41.22	54.26	2237	249.9	1987	1660	0.1852	-5.872	179.6
110	30	0.25	48.39	49.6	2401	228.4	2172	1814	0.1961	-5.872	179.6
120	30	0.25	56.24	45.68	2569	210.4	2358	1970	0.207	-5.872	179.6
130	30	0.25	64.78	42.33	2742	194.9	2547	2128	0.2178	-5.872	179.6
140	30	0.25	74.09	39.44	2922	181.6	2740	2289	0.2286	-5.872	179.6
150	30	0.25	84.25	36.92	3110	170	2940	2456	0.2393	-5.872	179.6
160	30	0.25	95.44	34.7	3312	159.8	3152	2632	0.2501	-5.872	179.6
170	30	0.25	108.1	32.73	3539	150.7	3388	2830	0.2613	-5.872	179.6
180	30	0.25	156.7	30.98	4855	142.7	4713	3936	0.2869	-5.872	179.6
190	30	0.25	169.4	29.4	4981	135.4	4845	4047	0.2872	-5.872	179.6
200	30	0.25	177.9	27.98	4978	128.8	4849	4050	0.2864	-5.872	179.6
210	30	0.25	185.3	26.68	4944	122.9	4821	4027	0.2851	-5.872	179.6
220	30	0.25	192	25.5	4898	117.5	4780	3992	0.2836	-5.872	179.6
230	30	0.25	198.4	24.43	4845	112.5	4733	3953	0.282	-5.872	179.6
240	30	0.25	204.4	23.43	4791	107.9	4683	3911	0.2803	-5.872	179.6
250	30	0.25	210.3	22.52	4736	103.7	4632	3869	0.2785	-5.872	179.6

ANEXO 02: TABLAS DE DATOS PARA LA EVALUACION DEL REFRIGERANTE DE TRABAJO A DISTINTOS PARAMETROS DE TEMPERATURAS Y PRESIONES DE ENTRADA Y UNA PRESION DE EXPANSION CONSTANTE.

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1
100	5	0.65	68.05	68.54	4665	47.79	4617	3856	0.1576	15.83	83.77
110	5	0.65	70.49	61.27	4319	42.72	4276	3572	0.1563	15.83	83.77
120	5	0.65	72.87	55.39	4036	38.63	3998	3339	0.155	15.83	83.77
130	5	0.65	75.2	50.54	3801	35.24	3766	3145	0.1535	15.83	83.77
140	5	0.65	77.5	46.48	3602	32.41	3569	2981	0.1521	15.83	83.77
150	5	0.65	79.76	43.01	3431	29.99	3401	2840	0.1506	15.83	83.77
160	5	0.65	82	40.03	3283	27.91	3255	2718	0.149	15.83	83.77
170	5	0.65	84.22	37.44	3153	26.1	3127	2612	0.1475	15.83	83.77
180	5	0.65	86.42	35.16	3038	24.52	3014	2517	0.146	15.83	83.77
190	5	0.65	88.6	33.14	2936	23.11	2913	2433	0.1445	15.83	83.77
200	5	0.65	90.78	31.34	2845	21.85	2823	2358	0.143	15.83	83.77
210	5	0.65	92.94	29.73	2763	20.73	2742	2290	0.1415	15.83	83.77
220	5	0.65	95.09	28.27	2688	19.71	2669	2229	0.14	15.83	83.77
230	5	0.65	97.23	26.95	2621	18.79	2602	2173	0.1386	15.83	83.77
240	5	0.65	99.36	25.75	2559	17.96	2541	2122	0.1371	15.83	83.77
250	5	0.65	101.5	24.65	2502	17.19	2485	2075	0.1357	15.83	83.77

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1
100	10	0.65	24.42	68.68	1677	102.9	1574	1314	0.1344	16.09	115.8
110	10	0.65	30.22	61.38	1855	91.99	1763	1472	0.1466	16.09	115.8
120	10	0.65	90.56	55.48	5024	83.15	4941	4127	0.2001	16.09	115.8
130	10	0.65	94.29	50.62	4773	75.86	4697	3923	0.1988	16.09	115.8
140	10	0.65	97.84	46.54	4553	69.75	4483	3745	0.1973	16.09	115.8
150	10	0.65	101.2	43.07	4360	64.55	4296	3588	0.1957	16.09	115.8
160	10	0.65	104.5	40.08	4190	60.07	4130	3449	0.194	16.09	115.8
170	10	0.65	107.8	37.48	4039	56.17	3983	3326	0.1923	16.09	115.8
180	10	0.65	110.9	35.19	3904	52.75	3851	3216	0.1905	16.09	115.8
190	10	0.65	114	33.17	3783	49.72	3733	3118	0.1887	16.09	115.8
200	10	0.65	117.1	31.37	3673	47.02	3626	3029	0.1869	16.09	115.8
210	10	0.65	120.1	29.75	3574	44.59	3529	2948	0.1851	16.09	115.8
220	10	0.65	123.1	28.3	3484	42.41	3441	2874	0.1833	16.09	115.8
230	10	0.65	126.1	26.97	3401	40.43	3361	2807	0.1815	16.09	115.8
240	10	0.65	129	25.77	3325	38.62	3287	2745	0.1797	16.09	115.8
250	10	0.65	132	24.67	3255	36.97	3218	2688	0.178	16.09	115.8

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1
100	15	0.65	25.06	68.81	1725	158.3	1566	1308	0.1385	16.34	137.4
110	15	0.65	30.84	61.49	1896	141.4	1755	1466	0.1501	16.34	137.4
120	15	0.65	37.32	55.57	2074	127.8	1946	1625	0.1618	16.34	137.4
130	15	0.65	44.54	50.69	2258	116.6	2141	1788	0.1733	16.34	137.4
140	15	0.65	105.3	46.6	4907	107.2	4800	4009	0.2209	16.34	137.4
150	15	0.65	110.1	43.12	4748	99.19	4648	3882	0.2197	16.34	137.4
160	15	0.65	114.5	40.12	4595	92.3	4502	3760	0.2182	16.34	137.4
170	15	0.65	118.7	37.52	4452	86.3	4366	3646	0.2165	16.34	137.4
180	15	0.65	122.7	35.23	4321	81.04	4240	3541	0.2147	16.34	137.4
190	15	0.65	126.5	33.2	4200	76.38	4124	3444	0.2129	16.34	137.4
200	15	0.65	130.3	31.4	4090	72.22	4018	3355	0.2111	16.34	137.4
210	15	0.65	133.9	29.78	3988	68.5	3920	3274	0.2092	16.34	137.4
220	15	0.65	137.5	28.32	3895	65.14	3830	3199	0.2073	16.34	137.4
230	15	0.65	141.1	26.99	3809	62.09	3747	3129	0.2054	16.34	137.4
240	15	0.65	144.6	25.79	3729	59.32	3670	3065	0.2034	16.34	137.4
250	15	0.65	148.1	24.69	3655	56.79	3598	3005	0.2015	16.34	137.4

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1
100	20	0.65	25.72	68.95	1773	213.9	1559	1302	0.1426	16.59	154.1
110	20	0.65	31.47	61.59	1938	191	1747	1459	0.1538	16.59	154.1
120	20	0.65	37.91	55.66	2110	172.6	1937	1618	0.165	16.59	154.1
130	20	0.65	45.07	50.76	2288	157.5	2131	1780	0.1761	16.59	154.1
140	20	0.65	53.04	46.66	2475	144.7	2330	1946	0.1873	16.59	154.1
150	20	0.65	61.95	43.17	2675	133.9	2541	2122	0.1986	16.59	154.1
160	20	0.65	118.1	40.17	4742	124.6	4618	3857	0.2337	16.59	154.1
170	20	0.65	123.7	37.56	4644	116.5	4528	3782	0.2324	16.59	154.1
180	20	0.65	128.7	35.26	4538	109.4	4429	3699	0.2308	16.59	154.1
190	20	0.65	133.4	33.23	4433	103.1	4330	3617	0.2291	16.59	154.1
200	20	0.65	137.9	31.43	4332	97.48	4235	3537	0.2273	16.59	154.1
210	20	0.65	142.2	29.8	4237	92.44	4144	3461	0.2254	16.59	154.1
220	20	0.65	146.3	28.34	4147	87.91	4059	3390	0.2235	16.59	154.1
230	20	0.65	150.4	27.02	4063	83.79	3979	3324	0.2216	16.59	154.1
240	20	0.65	154.4	25.81	3985	80.05	3905	3261	0.2196	16.59	154.1
250	20	0.65	158.3	24.7	3911	76.63	3835	3203	0.2176	16.59	154.1

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1
100	25	0.65	26.37	69.08	1822	269.6	1552	1296	0.1468	16.85	167.9
110	25	0.65	32.1	61.7	1981	240.8	1740	1453	0.1574	16.85	167.9
120	25	0.65	38.51	55.74	2147	217.6	1929	1611	0.1682	16.85	167.9
130	25	0.65	45.62	50.84	2319	198.4	2121	1771	0.179	16.85	167.9
140	25	0.65	53.5	46.72	2500	182.4	2317	1936	0.1899	16.85	167.9
150	25	0.65	62.26	43.23	2691	168.7	2522	2107	0.2008	16.85	167.9
160	25	0.65	72.13	40.22	2901	157	2744	2292	0.2119	16.85	167.9
170	25	0.65	123.3	37.6	4635	146.8	4488	3749	0.2433	16.85	167.9
180	25	0.65	130.6	35.3	4611	137.8	4474	3736	0.2423	16.85	167.9
190	25	0.65	136.7	33.27	4546	129.8	4416	3688	0.2409	16.85	167.9
200	25	0.65	142.1	31.45	4468	122.8	4346	3630	0.2392	16.85	167.9
210	25	0.65	147.1	29.83	4388	116.4	4271	3568	0.2374	16.85	167.9
220	25	0.65	151.9	28.36	4308	110.7	4198	3506	0.2356	16.85	167.9
230	25	0.65	156.5	27.04	4231	105.5	4126	3446	0.2336	16.85	167.9
240	25	0.65	161	25.83	4157	100.8	4057	3388	0.2317	16.85	167.9
250	25	0.65	165.3	24.72	4087	96.49	3991	3333	0.2297	16.85	167.9

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1
100	30	0.65	27.03	69.22	1871	325.6	1545	1290	0.1509	17.1	179.6
110	30	0.65	32.74	61.81	2023	290.8	1733	1447	0.1611	17.1	179.6
120	30	0.65	39.11	55.83	2184	262.7	1921	1604	0.1714	17.1	179.6
130	30	0.65	46.18	50.91	2351	239.5	2112	1764	0.1819	17.1	179.6
140	30	0.65	53.99	46.79	2526	220.1	2306	1926	0.1924	17.1	179.6
150	30	0.65	62.62	43.28	2710	203.6	2507	2094	0.203	17.1	179.6
160	30	0.65	72.24	40.26	2909	189.4	2719	2271	0.2137	17.1	179.6
170	30	0.65	83.24	37.64	3133	177.1	2956	2469	0.2248	17.1	179.6
180	30	0.65	125.7	35.33	4440	166.2	4274	3570	0.25	17.1	179.6
190	30	0.65	136.4	33.3	4541	156.7	4384	3662	0.2496	17.1	179.6
200	30	0.65	143.5	31.48	4518	148.1	4370	3650	0.2483	17.1	179.6
210	30	0.65	149.6	29.85	4467	140.5	4326	3613	0.2467	17.1	179.6
220	30	0.65	155.2	28.39	4405	133.6	4272	3568	0.245	17.1	179.6
230	30	0.65	160.4	27.06	4340	127.3	4213	3519	0.2431	17.1	179.6
240	30	0.65	165.4	25.85	4275	121.6	4154	3469	0.2412	17.1	179.6
250	30	0.65	170.2	24.74	4211	116.4	4095	3420	0.2393	17.1	179.6

ANEXO 03: TABLAS DE DATOS PARA LA EVALUACION DEL REFRIGERANTE DE TRABAJO A DISTINTOS PARAMETROS DE TEMPERATURAS Y PRESIONES DE ENTRADA Y UNA PRESION DE EXPANSION CONSTANTE.

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1
100	5	1	54.02	79.79	4310	52.15	4258	3556	0.1323	27.7	83.77
110	5	1	55.97	70.1	3924	45.82	3878	3239	0.1309	27.7	83.77
120	5	1	57.88	62.51	3618	40.86	3577	2988	0.1295	27.7	83.77
130	5	1	59.74	56.41	3370	36.87	3333	2784	0.1281	27.7	83.77
140	5	1	61.57	51.39	3164	33.59	3130	2615	0.1266	27.7	83.77
150	5	1	63.38	47.19	2991	30.84	2960	2472	0.1252	27.7	83.77
160	5	1	65.16	43.62	2843	28.51	2814	2350	0.1237	27.7	83.77
170	5	1	66.93	40.56	2715	26.51	2688	2245	0.1223	27.7	83.77
180	5	1	68.68	37.9	2603	24.77	2578	2153	0.1208	27.7	83.77
190	5	1	70.42	35.56	2504	23.25	2481	2072	0.1194	27.7	83.77
200	5	1	72.14	33.5	2417	21.9	2395	2000	0.118	27.7	83.77
210	5	1	73.86	31.66	2339	20.7	2318	1936	0.1166	27.7	83.77
220	5	1	75.57	30.02	2268	19.62	2249	1878	0.1152	27.7	83.77
230	5	1	77.27	28.53	2205	18.65	2186	1826	0.1139	27.7	83.77
240	5	1	78.96	27.19	2147	17.77	2129	1778	0.1126	27.7	83.77
250	5	1	80.65	25.97	2094	16.97	2077	1735	0.1113	27.7	83.77

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1
100	10	1	18.32	79.99	1465	117.6	1348	1125	0.1158	27.96	115.8
110	10	1	23.35	70.25	1641	103.3	1537	1284	0.1278	27.96	115.8
120	10	1	26.55	62.63	1795	92.12	1703	1398	0.1784	27.96	115.8
130	10	1	29.76	56.51	1907	83.1	1824	1536	0.1769	27.96	115.8
140	10	1	32.97	51.47	2022	75.7	1956	1686	0.1752	27.96	115.8
150	10	1	36.18	47.26	2149	69.5	2094	1836	0.1735	27.96	115.8
160	10	1	39.39	43.68	2286	64.24	2238	1986	0.1718	27.96	115.8
170	10	1	42.60	40.61	2433	59.73	2386	2136	0.17	27.96	115.8
180	10	1	45.81	37.94	2589	55.8	2534	2286	0.1682	27.96	115.8
190	10	1	49.02	35.6	2754	52.36	2686	2436	0.1664	27.96	115.8
200	10	1	52.23	33.54	2927	49.32	2838	2586	0.1646	27.96	115.8
210	10	1	55.44	31.69	3108	46.61	2986	2736	0.1628	27.96	115.8
220	10	1	58.65	30.05	3297	44.19	3134	2886	0.161	27.96	115.8
230	10	1	61.86	28.56	3492	42	3286	3036	0.1593	27.96	115.8
240	10	1	65.07	27.21	3693	40.02	3434	3186	0.1575	27.96	115.8
250	10	1	68.28	25.99	3900	38.22	3586	3336	0.1558	27.96	115.8

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1	T3
100	15	1	18.99	80.18	1523	183.4	1339	1119	0.1206	28.23	137.4	27.48
110	15	1	24	70.41	1690	161.1	1529	1277	0.1319	28.23	137.4	27.48
120	15	1	29.71	62.76	1864	143.6	1721	1437	0.1433	28.23	137.4	27.48
130	15	1	36.15	56.6	2046	129.5	1917	1601	0.1548	28.23	137.4	27.48
140	15	1	41.59	51.55	2234	117.9	2107	1765	0.2008	28.23	137.4	27.48
150	15	1	47.03	47.33	2427	108.3	2297	1919	0.1994	28.23	137.4	27.48
160	15	1	52.47	43.74	2624	100.1	2486	2073	0.1977	28.23	137.4	27.48
170	15	1	57.91	40.66	2826	93.02	2676	2229	0.1959	28.23	137.4	27.48
180	15	1	63.35	37.99	3033	86.9	2866	2385	0.194	28.23	137.4	27.48
190	15	1	68.79	35.64	3246	81.54	3056	2541	0.1921	28.23	137.4	27.48
200	15	1	74.23	33.57	3464	76.8	3246	2697	0.1902	28.23	137.4	27.48
210	15	1	79.67	31.73	3687	72.58	3436	2853	0.1883	28.23	137.4	27.48
220	15	1	85.11	30.07	3916	68.8	3626	3009	0.1863	28.23	137.4	27.48
230	15	1	90.55	28.59	4151	65.4	3816	3165	0.1844	28.23	137.4	27.48
240	15	1	96.00	27.24	4392	62.31	4006	3321	0.1825	28.23	137.4	27.48
250	15	1	101.44	26.01	4639	59.5	4196	3477	0.1806	28.23	137.4	27.48

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1	T3
100	20	1	19.67	80.38	1581	249.6	1331	1112	0.1254	28.5	154.1	27.48
110	20	1	24.66	70.56	1740	219.1	1521	1270	0.1361	28.5	154.1	27.48
120	20	1	30.33	62.88	1907	195.2	1712	1430	0.147	28.5	154.1	27.48
130	20	1	36.72	56.7	2082	176.1	1906	1592	0.158	28.5	154.1	27.48
140	20	1	43.89	51.63	2266	160.3	2106	1759	0.169	28.5	154.1	27.48
150	20	1	51.98	47.4	2464	147.2	2317	1935	0.1802	28.5	154.1	27.48
160	20	1	103.3	43.8	4524	136	4388	3665	0.2145	28.5	154.1	27.48
170	20	1	108.3	40.71	4409	126.4	4283	3577	0.213	28.5	154.1	27.48
180	20	1	112.8	38.03	4290	118.1	4172	3484	0.2112	28.5	154.1	27.48
190	20	1	117	35.68	4174	110.8	4063	3394	0.2094	28.5	154.1	27.48
200	20	1	121	33.6	4065	104.3	3960	3308	0.2075	28.5	154.1	27.48
210	20	1	124.8	31.76	3962	98.6	3864	3227	0.2055	28.5	154.1	27.48
220	20	1	128.5	30.1	3867	93.46	3774	3152	0.2035	28.5	154.1	27.48
230	20	1	132.1	28.61	3779	88.83	3690	3082	0.2015	28.5	154.1	27.48
240	20	1	135.6	27.26	3697	84.64	3612	3017	0.1996	28.5	154.1	27.48
250	20	1	139.1	26.03	3621	80.82	3540	2956	0.1976	28.5	154.1	27.48

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1	T3
100	25	1	20.35	80.58	1640	316	1324	1105	0.1303	28.77	167.9	27.48
110	25	1	25.32	70.71	1790	277.3	1513	1264	0.1403	28.77	167.9	27.48
120	25	1	30.96	63	1950	247.1	1703	1423	0.1507	28.77	167.9	27.48
130	25	1	37.3	56.8	2119	222.8	1896	1583	0.1612	28.77	167.9	27.48
140	25	1	44.4	51.71	2296	202.8	2093	1748	0.1719	28.77	167.9	27.48
150	25	1	52.35	47.46	2485	186.1	2299	1920	0.1827	28.77	167.9	27.48
160	25	1	61.38	43.86	2692	172	2520	2105	0.1937	28.77	167.9	27.48
170	25	1	108.6	40.76	4427	159.9	4267	3564	0.2248	28.77	167.9	27.48
180	25	1	115.3	38.08	4389	149.3	4239	3541	0.2236	28.77	167.9	27.48
190	25	1	120.7	35.72	4311	140.1	4171	3484	0.2219	28.77	167.9	27.48
200	25	1	125.6	33.64	4224	131.9	4092	3418	0.2202	28.77	167.9	27.48
210	25	1	130.1	31.79	4135	124.7	4011	3350	0.2183	28.77	167.9	27.48
220	25	1	134.4	30.13	4049	118.2	3931	3283	0.2163	28.77	167.9	27.48
230	25	1	138.5	28.64	3966	112.3	3854	3219	0.2143	28.77	167.9	27.48
240	25	1	142.5	27.28	3888	107	3781	3158	0.2123	28.77	167.9	27.48
250	25	1	146.4	26.05	3814	102.2	3712	3100	0.2103	28.77	167.9	27.48

T1 (°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1	T3
100	30	1	21.03	80.78	1698	382.8	1316	1099	0.1352	29.03	179.6	27.48
110	30	1	25.98	70.86	1841	335.8	1505	1257	0.1445	29.03	179.6	27.48
120	30	1	31.59	63.12	1994	299.1	1695	1416	0.1544	29.03	179.6	27.48
130	30	1	37.89	56.9	2156	269.6	1886	1576	0.1645	29.03	179.6	27.48
140	30	1	44.93	51.8	2327	245.5	2082	1739	0.1748	29.03	179.6	27.48
150	30	1	52.77	47.53	2508	225.3	2283	1907	0.1852	29.03	179.6	27.48
160	30	1	61.57	43.92	2704	208.1	2496	2084	0.1958	29.03	179.6	27.48
170	30	1	71.69	40.81	2926	193.4	2733	2282	0.2068	29.03	179.6	27.48
180	30	1	111.1	38.12	4237	180.6	4056	3388	0.2319	29.03	179.6	27.48
190	30	1	120.9	35.76	4325	169.5	4155	3471	0.2313	29.03	179.6	27.48
200	30	1	127.4	33.67	4291	159.6	4132	3451	0.2299	29.03	179.6	27.48
210	30	1	133	31.82	4231	150.8	4080	3408	0.2282	29.03	179.6	27.48
220	30	1	138	30.16	4162	142.9	4019	3357	0.2263	29.03	179.6	27.48
230	30	1	142.7	28.66	4091	135.8	3955	3303	0.2243	29.03	179.6	27.48
240	30	1	147.2	27.3	4020	129.4	3891	3250	0.2224	29.03	179.6	27.48
250	30	1	151.6	26.07	3952	123.6	3829	3198	0.2203	29.03	179.6	27.48

ANEXO 04: PRODUCCIÓN DE FLUJO MÁSSICO DEL FLUIDO SECUNDARIO
 SEGÚN FLUJO MÁSSICO DEL FLUIDO GEOTÉRMICO A DIVERSAS
 TEMPERATURAS DE ENTRADA AL INTERCAMBIADOR DE CALOR

TEMP. ENT. IC=150°C	
TEMP. SAL. IC=100°C	
m_GEO	M_ISOB
10	10.09
15	15.13
20	20.18
25	25.22
30	30.26
35	35.31
40	40.35
45	45.40
50	50.44
55	55.48
60	60.53

TEMP. ENT. IC=170°C	
TEMP. SAL. IC=100°C	
m_GEO	M_ISOB
10	14.57
15	21.86
20	29.14
25	36.43
30	43.72
35	51.00
40	58.29
45	65.57
50	72.86
55	80.14
60	87.43

TEMP. ENT. IC = 190°C	
TEMP. SAL. IC=100°C	
m_GEO	M_ISOB
10	19.06
15	28.58
20	38.11
25	47.64
30	57.17
35	66.69
40	76.22
45	85.75
50	95.28
55	104.80
60	114.33

TEMP. ENT. IC= 210°C	
TEMP. SAL. IC=100°C	
m_GEO	m_ISOB
10	23.54
15	35.31
20	47.08
25	58.85
30	70.62
35	82.39
40	94.16
45	105.92
50	117.69
55	129.46
60	141.23

TEMP. ENT. IC= 230°C	
TEMP. SAL. IC=100°C	
m_GEO	m_ISOB
10	28.02
15	42.03
20	56.04
25	70.06
30	84.07
35	98.08
40	112.09
45	126.10
50	140.11
55	154.12
60	168.13

TEMP. ENT. IC= 250°C	
TEMP. SAL. IC=100°C	
m_GEO	m_ISOB
10	32.51
15	48.76
20	65.01
25	81.27
30	97.52
35	113.77
40	130.02
45	146.28
50	162.53
55	178.78
60	195.04

TEMP. ENT. IC= 270°C	
TEMP. SAL. IC=105°C	
m_GEO	m_ISOB
10	36.99
15	55.48
20	73.98
25	92.47
30	110.97
35	129.46
40	147.96
45	166.45
50	184.95
55	203.44
60	221.94

TEMP. ENT. IC= 290°C	
TEMP. SAL. IC=105°C	
m_GEO	m_ISOB
10	41.47
15	62.21
20	82.95
25	103.68
30	124.42
35	145.16
40	165.89
45	186.63
50	207.37
55	228.10
60	248.84

Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 05: TABLA DE DATOS IDENTIFICANDO LA POTENCIA ELECTRICA
GENERADA, EL FLUJO MASICO DEL REFRIGERANTE Y LA EFICIENCIA DE PLANTA**

m_f.sec	Pot_Gen	n_planta
5	313.6	17.84%
15	940.8	17.84%
25	1567.9	17.84%
35	2195.1	17.84%
45	2822.3	17.84%
55	3449.4	17.84%
65	4076.6	17.84%
75	4703.8	17.84%
85	5330.9	17.84%
95	5958.1	17.84%
105	6585.3	17.84%
115	7212.4	17.84%
125	7839.6	17.84%
135	8466.8	17.84%
145	9093.9	17.84%
155	9721.1	17.84%
165	10348.3	17.84%
175	10975.4	17.84%
185	11602.6	17.84%
195	12229.8	17.84%
205	12856.9	17.84%
215	13484.1	17.84%

**ANEXO 06: TABLA DE DATOS IDENTIFICANDO LA POTENCIA ELECTRICA
GENERADA, EL FLUJO MASICO DEL REFRIGERANTE Y LA EFICIENCIA DE PLANTA**

T1(°C)	P1	P2	W_tv	m_gas	Ptv	P_b	P_neta	P_G	n_planta	Tr4	Tsat1
T1=100, P1=5BAR	5	0.65	68.05	68.54	4665	47.79	4617	3856	16%	15.83	83.77
T1=120, P1=10BAR	10	0.65	90.56	55.48	5024	83.15	4941	4127	20%	16.09	115.8
T1=140, P1=15BAR	15	0.65	105.3	46.6	4907	107.2	4800	4009	22%	16.34	137.4
T1=160, P1=20BAR	20	0.65	118.1	40.17	4742	124.6	4618	3857	23%	16.59	154.1
T1=170, P1= 25BAR	25	0.65	123.3	37.6	4635	146.8	4488	3749	24%	16.85	167.9
T1=190, P1=30BAR	30	0.65	136.4	33.3	4541	156.7	4384	3662	25%	17.1	179.6

ANEXO 07: TABLA DE DATOS IDENTIFICANDO LA POTENCIA ELECTRICA GENERADA, EFICIENCIA DE PLANTA OTROS PARAMETROS SEGÚN EFICIENCIA DE TURBINA DE GAS.

n_tv	P1	T1	P2	W_tv	m_gas	P_neta	P_g	n_planta
0.70	10	120	0.25	72.03	55.48	3913	3268	20%
0.75	10	120	0.25	77.18	55.48	4199	3507	20%
0.80	10	120	0.25	82.33	55.48	4484	3745	20%
0.85	10	120	0.25	87.47	55.48	4770	3984	20%
0.88	10	120	0.25	90.56	55.48	4941	4127	20%
0.90	10	120	0.25	92.62	55.48	5055	4222	20%
0.95	10	120	0.25	97.76	55.48	5341	4461	20%

ANEXO 08: POTENCIAS ELÉCTRICAS GENERADAS vs PARAMETROS EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR

	m.f.g.=15 Kg/sg		m.f.g.=30 Kg/sg		m.f.g.=50 Kg/sg	
Ta=150°C, Tb=105°C	15.13	1959.42	30.26	3918.84	50.44	6531.40
Ta=170°C, Tb=105°C	21.86	2830.27	43.72	5660.54	72.86	9434.24
Ta=190°C, Tb=105°C	28.58	3701.12	57.17	7402.25	95.28	12337.08
Ta=210°C, Tb=105°C	35.31	4571.98	70.62	9143.95	117.69	15239.92
Ta=230°C, Tb=105°C	42.03	5442.83	84.07	10885.66	140.11	18142.77
Ta=250°C, Tb=105°C	48.76	6313.68	97.52	12627.37	162.53	21045.61
Ta=270°C, Tb=105°C	55.48	7184.54	110.97	14369.07	184.95	23948.45
Ta=290°C, Tb=105°C	62.21	8055.39	124.42	16110.78	207.37	26851.30

**ANEXO 09: TABLAS DE DATOS PARA LA EVALUACION DEL
REFRIGERANTE DE TRABAJO A DISTINTOS PARAMETROS DE
TEMPERATURAS Y PRESIONES.**

P1 (Bar)	5 Bar	10 Bar	15 Bar
T1 (°C)	100	120	140
S1 (KJ/Kg-K)	-0.2263	-0.3438	-0.3093
H1 (KJ/Kg)	164	144.7	172.8
P2 (Bar)	0.65	0.65	0.65
T2 (°C)	72.44	51.12	57.34
S2 (KJ/Kg-K)	-0.2263	-0.3438	-0.3093
H2 (KJ/Kg)	81.19	41.84	53.12
Hr2 (KJ/Kg)	91.12	54.19	67.48
T3 (°C)	15.61	15.61	15.61
H3 (KJ/Kg)	-371.1	-371.1	-371.1
T4 (°C)	15.75	15.92	16.08
v3 (m3/Kg)	0.001603	0.001603	0.001603
H4 (KJ/Kg)	-370.4	-369.6	-368.8
Hr4 (KJ/Kg)	-370.2	-369.2	-368.2
T_sat1 (°C)	83.77	115.8	137.4
W_tv (KJ/Kg)	72.87	90.56	105.3
m_gas (Kg/s)	55.39	55.48	46.6
P_tv (KW)	4036	5024	4907
P_b (KW)	38.63	83.15	107.2
P_neta (KW)	3998	4941	4800
P_gen (KW)	3856 KW	4127 KW	4009 KW
n_planta	15.76%	20.10%	22.09%

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 10: EVALUACIÓN ECONÓMICA

TABLA N°1: EQUIPOS DE GENERACIÓN

EQUIPO DE GENERACIÓN	
DESCRIPCIÓN	COSTO (US\$)
TURBINA	140,000.00
GENERADOR	270,000.00
INTERCAMBIADORES	1,893,982.00
CONDENSADOR	200,000.00
BOMBA DE ALIMENTACIÓN	150,000.00
BOMBA DE ENFRIAMIENTO	701,523.00
TOTAL (US\$)	3,355,505.00

Fuente: elaboración propia

TABLA N°2: SUBESTACIÓN Y TRANSFORMADOR

SUBESTACION Y TRANSFORMADOR			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	C.U. (US\$)	TOTAL (US\$)
Transformador de potencia 138/10 kV, 6 MVA (ONAF), 650 kVp BIL	1	367,027.15	367,027.15
Interruptor, 138 kV, 650 kVp (BIL), 2000 A, 31.5 kA, operación tripolar, incluye estructura soporte.	1	36,246.78	36,246.78
Seccionador de línea, 138 kV, 650 KVp (BIL), 2000 A, incluye estructura soporte	1	11,834.18	11,834.18
Transformador de corriente, 138 kV, 650 KVp (BIL), 1600-2000/1/1/1A, 2x30 VA - 5P20, 30 VA - CI 0,2, incluye estructura soporte	3	6,523.36	19,570.08
Transformador de tensión capacitivo, 138 kV, 650 KVp (BIL), 138/V3 / 0,1/V3 0,1/V3 kV, 30 VA - 3P, 30 VA - CI 0,2, incluye estructura soporte	3	8,412.77	25,238.30
Pararrayos 120 kV, 10 kA, clase 3, incluye estructura soporte y contador de descarga (650 kVp BIL)	3	2,382.42	7,147.27
MONTO TOTAL			467,063.77

Fuente: elaboración propia

TABLA N°3: PERSONAL DE PLANTA

PERSONAL DE OPERACIÓN DE PLANTA			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SUELDO MENSUAL (US\$)	SUELDO ANUAL (US\$)
Gerente de planta	1	3,902.33	46,827.91
Gerente de Operaciones	1	2,963.22	35,558.63
Gerente de Mantenimiento y Planificación	1	2,963.22	35,558.63
Jefe de turno	2	2,414.34	57,944.23
Operadores (dos turnos)	4	1,309.75	62,867.96
Supervisor mecánico	1	2,414.34	28,972.12
Supervisor electrico e Instrumentación y Control	1	2,414.34	28,972.12
Personal de mantenimiento	4	1,309.75	62,867.96
Seguridad industrial	1	1,200.00	14,400.00
Personal de seguridad	11	500.00	66,000.00
TOTAL	27		439,969.56

Fuente: elaboración propia

TABLA N° 4: INGRESOS DEL ESTADO

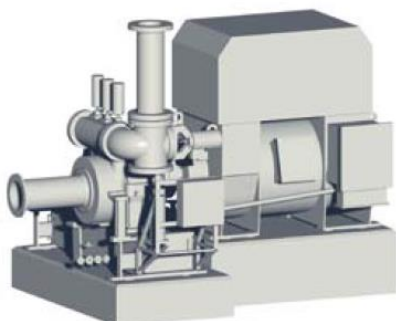
INGRESOS DEL ESTADO	
DESCRIPCIÓN	MONTO (US\$)
Derecho de la vigencia	13,215.10
Contribución del titular	19,056.95
Retribución anual	1,217.63
MONTO TOTAL	33,489.69

Fuente: elaboración propia

ANEXO 11: CARACTERISTICAS DE LAS TURBINAS PARA ORC



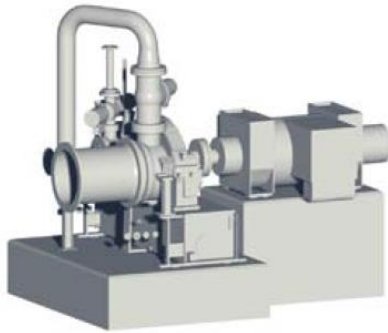
SST-060



La SST-060 se caracteriza por una construcción robusta y por un funcionamiento muy seguro incluso bajo las condiciones más duras. Es apropiada también para el funcionamiento con vapor saturado. Como turbina de condensación o contrapresión en combinación con diversos módulos vale para muchos ámbitos de aplicación.

DATOS TÉCNICOS	DIMENSIONES TÍPICAS	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS
<p>Potencia: hasta 6 MW</p> <p>Presión del vapor vivo: hasta 131 bar</p> <p>Temperatura del vapor vivo: vapor saturado seco hasta 530°C.</p> <p>Velocidad: según la máquina accionada.</p> <p>Presión del vapor de salida: contrapresión hasta 29 bar (a) o condensación hasta 0.25 bar.</p> <p>Eficiencia: 88%</p>	<p>Longitud: 1,5 m*</p> <p>Anchura: 2,5 m*</p> <p>Altura: 2,5 m*</p> <p>(*Solo turbina).</p>	<p>Ejecución como turbina de condensación o contrapresión.</p> <p>Ejecución en paquete.</p> <p>Sistema de aceite integrado en el bastidor de base.</p> <p>Regulación del grupo de toberas disponible.</p> <p>Arranque rápido sin precalentamiento.</p> <p>Adaptación específica al cliente.</p> <p>Corresponde a las especificaciones de API 611 / 612*.</p> <p>Ejecución ATEX disponible.</p> <p>Apropiada para ORC (Organic Rankine Cycle).</p> <p>Apropiada para la expansión de gas natural.</p>

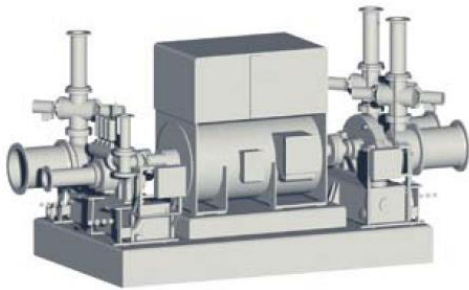
SST-110



La SST-100 es una turbina de dos carcasas con un reductor que puede trabajar con diversas redes de vapor. Es extremadamente económica y eficiente y puede absorber elevados gradientes térmicos con una extracción simultánea regulada.

DATOS TÉCNICOS	DIMENSIONES TÍPICAS	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS
<p>Potencia: hasta 7 MW</p> <p>Presión del vapor vivo: hasta 131 bar</p> <p>Temperatura del vapor vivo: vapor saturado seco hasta 530°C</p> <p>Velocidad: según la máquina accionada.</p> <p>Presión del vapor de salida: contrapresión hasta 10 bar o condensación hasta 0.25 bar</p> <p>Eficiencia: 88%</p>	<p>Longitud: aprox. 6 m, incluido el generador</p> <p>Anchura: 2,8 m</p> <p>Altura: 3,2 m</p>	<p>Ejecución de contrapresión, extracción o condensación.</p> <p>Ejecución en paquete</p> <p>Sistema de aceite integrado en el bastidor de base.</p> <p>Regulación del grupo de toberas disponible.</p> <p>Arranque rápido sin precalentamiento.</p> <p>Configuración totalmente compacta.</p> <p>Extracción y/o alimentación reguladas por presión.</p> <p>Disposición de alta presión – baja presión.</p> <p>Corresponde a las especificaciones de API 611 / 612*.</p> <p>Ejecución ATEX disponible</p> <p>Apropiada para ORC (Organic Rankine Cycle).</p> <p>Apropiada para la expansión de gas natural.</p>

SST-120



La SST-120 es una turbina de carcasa múltiple que consta de varios módulos de turbina acoplados en ambos extremos del árbol del generador. La turbina se puede accionar con un caudal de vapor en paralelo o en serie.

DATOS TÉCNICOS	DIMENSIONES TÍPICAS	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS
<p>Potencia: hasta 10 MW</p> <p>Presión del vapor vivo: hasta 131 bar</p> <p>Temperatura del vapor vivo: vapor saturado seco hasta 530°C</p> <p>Velocidad: según la máquina accionada</p> <p>Presión del vapor de salida: contrapresión hasta 10 bar o condensación hasta 0.25 bar</p> <p>Eficiencia: 88%</p>	<p>Longitud: aprox. 9 m, incluido el generador.</p> <p>Anchura: 2,8 m</p> <p>Altura: 3,2 m</p>	<p>Ejecución como turbina de contrapresión, extracción o condensación</p> <p>Ejecución en paquete</p> <p>Sistema de aceite integrado en bancada</p> <p>Posibilidad de regular el grupo de toberas</p> <p>Arranque rápido sin precalentamiento</p> <p>Configuración totalmente compacta</p> <p>Posibilidad de operar turbinas individuales mediante desacoplamiento</p> <p>Extracción y / o alimentación reguladas por presión</p> <p>Disposición de alta presión – baja presión</p> <p>Corresponde a las especificaciones de API 611 / 612*</p> <p>Ejecución ATEX disponible</p> <p>Apropiada para ORC (Organic Rankine Cycle)</p> <p>Apropiada para la expansión de gas natural.</p>

ANEXO 12: CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR PARA CENTRALES GEOTERMICAS

TECHNICAL INFORMATION

ABB offers module based generators where the active parts are adopted to each specific site in order to achieve high efficiency and reliable operation. Some of the design flexibility includes pressurized design which helps achieve a long life in aggressive environments. ABB can also offer dual shaft end design that allows to couple two smaller turbines to the same generator.



MAIN FEATURES

- Power 2-80MVA
- Voltage 3-15kV
- Frequency 50 & 60 Hz
- Standards IEC, NEMA, BS, VDE, CSA
- Ambient temp. - 50°C to +60°C (- 58°F to +140°F)
- Hazardous area Ex(n), Ex(p), Class I Div 2/Zone 2
- Protection IP20 to IP56
- Cooling forms IC01, IC21, IC31, IC616, IC81W, IC86W

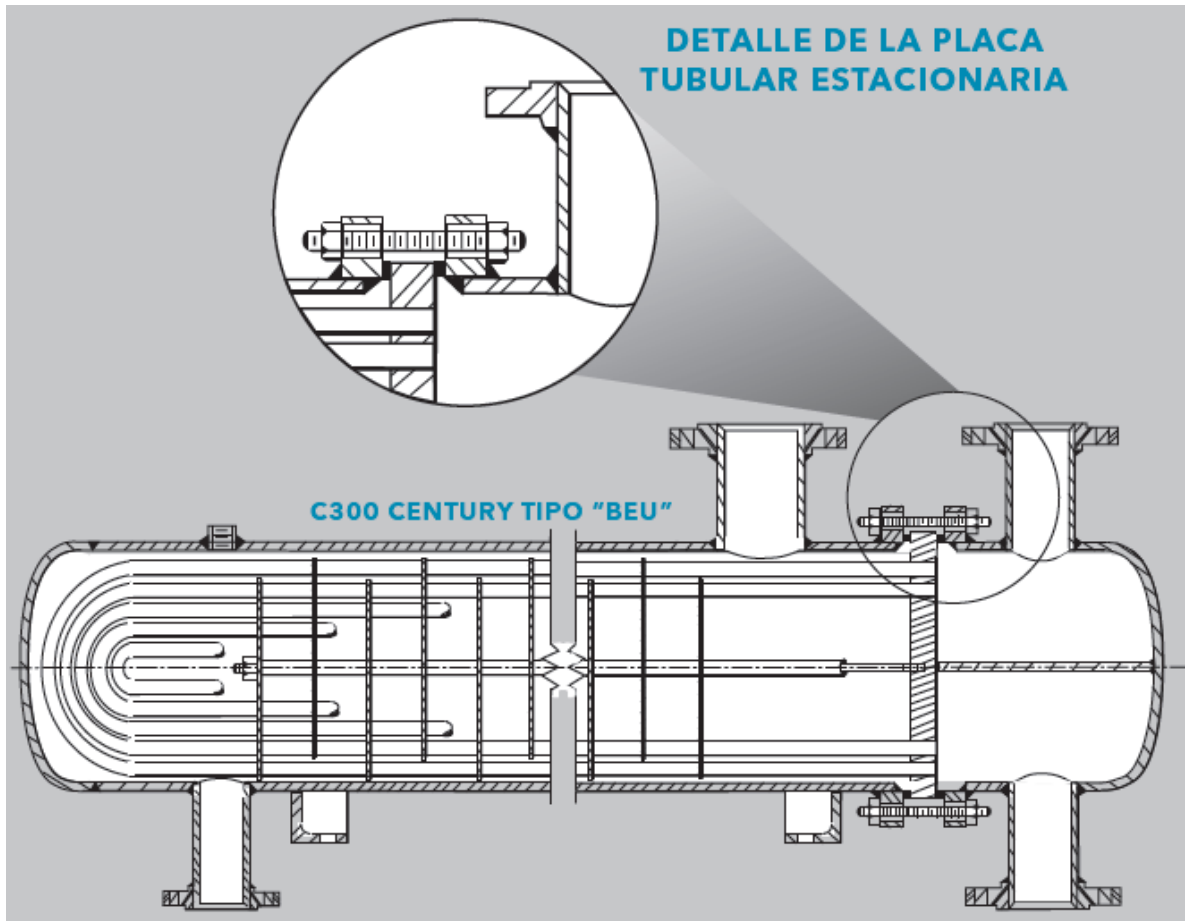
CUSTOMER VALUES

- Optimizing plant output. Each generator will be designed to optimize the output from the turbine at each specific site.
- Reliable generators for tough environments ABB has a long proven experience of installations in corrosive as well as in hazardous areas.
- Different cooling options. Many geothermal sites do not have cooling water available, and ABB can provide air cooled machines as well as water cooled solutions.
- Long reliable operation. The generator are built for long operating time and minimum down time to be a reliable and robust part of the power generation system.
- Global support and service. Long-term profitable operation requires reliable performance from every component. To achieve this, ABB can offer services that extend well beyond the warranty period.
- Low environmental impact. Besides high efficiency, ABB has environmental product declarations allowing for a total emission calculation during manufacturing and de-commissioning of the generator.

ANEXO 13: CARACTERÍSTICAS DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR

Standard Xchange
a xylem brand

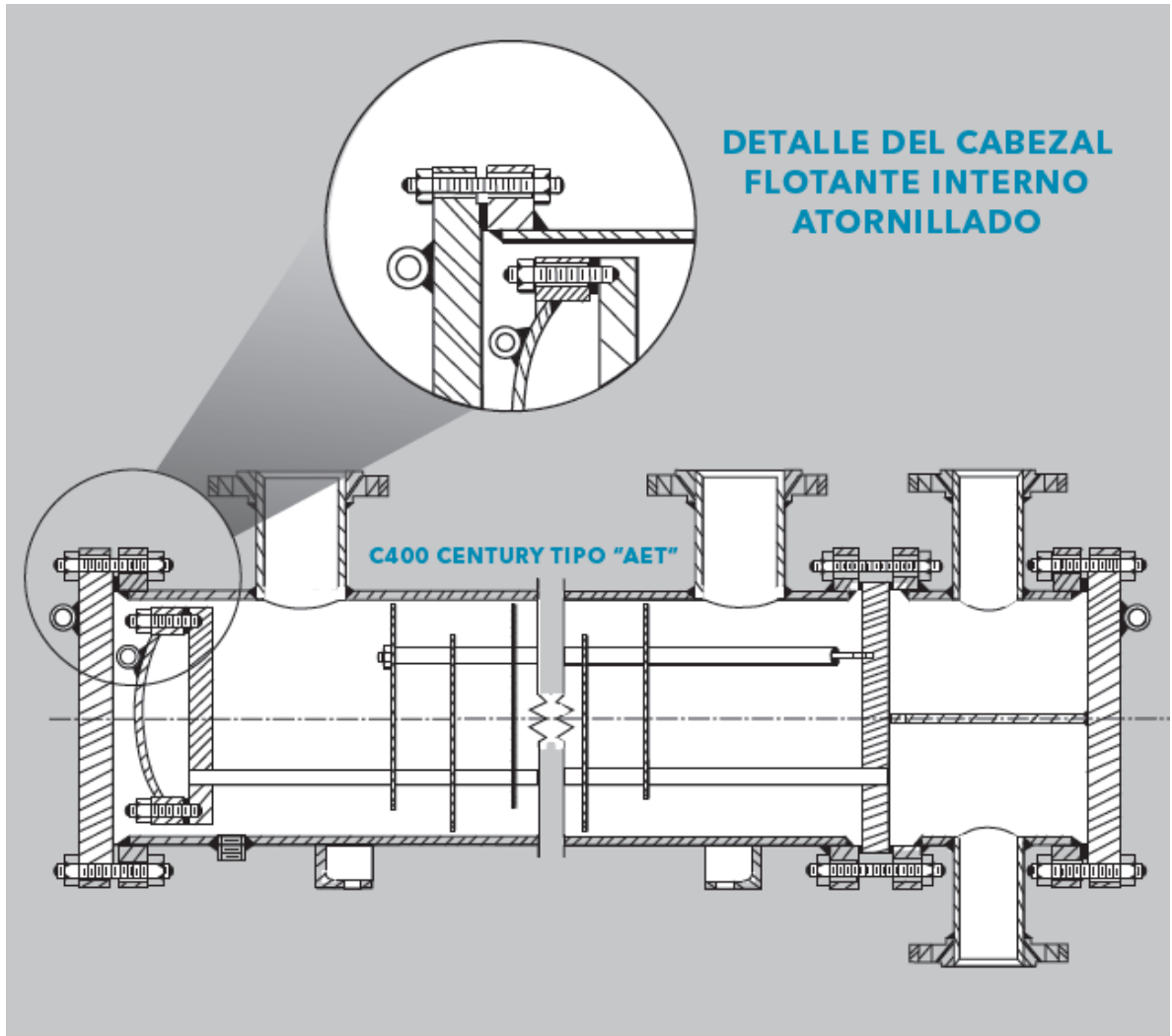
C300|C320 CENTURY®



	PRESIÓN DE DISEÑO	TEMPERATURA DE DISEÑO
Lado de tubos	75 – 450 Psi 517 – 3 102 KPa	-20 – 650°F -29 – 343°C
Lado de carcasa	75 – 300 Psi 517 – 2 068 KPa	-20 – 650°F -29 – 343°C

NOTA: Los diseños a la medida a 3 600 Psi/24 816 KPa y 1000°F/538°C, dependiendo del diámetro de la carcasa y de la temperatura de diseño.

DETALLES	VENTAJAS	LIMITACIONES
<p>Tubo en U, construcción con haz de tubos removible (C300) o calentador de succión (carcasa de extremo abierto) (C320)</p> <p>Arreglos de pasos múltiples para lograr una máxima eficiencia con una amplia variedad de caudales del lado de los tubos.</p> <p>El C320 es muy parecido al C300, pero tiene una carcasa con extremo abierto y un arreglo especial de tubos para aplicaciones de succión y calentamiento de tanques.</p> <p>Tamaños estándar de carcasa de 5 pulgadas a 42 pulgadas de diámetro; diseños a la medida hasta 60 pulgadas de diámetro.</p> <p>Disponible para montaje horizontal o vertical.</p>	<p>Permite la expansión diferencial entre carcasa y tubos así como entre tubos individuales.</p> <p>Amplia área de transferencia de calor por tamaño dado de carcasa y tubos.</p> <p>Capaz de soportar choque térmico.</p> <p>El más económico de todos los intercambiadores de calor, y el menos caro de todos los diseños básicos.</p> <p>El lado de la carcasa puede limpiarse mecánicamente o con vapor.</p> <p>El haz de tubos puede quitarse para la limpieza y el mantenimiento del lado de la carcasa.</p>	<p>El reemplazo de tubos individuales es difícil.</p> <p>No puede hacerse de un solo paso en el lado de los tubos, por lo que no es posible un flujo a contracorriente real.</p> <p>Drenar el lado de los tubos es difícil en la posición vertical (cabezal hacia arriba).</p> <p>El lado de los tubos sólo puede limpiarse con medios químicos.</p>



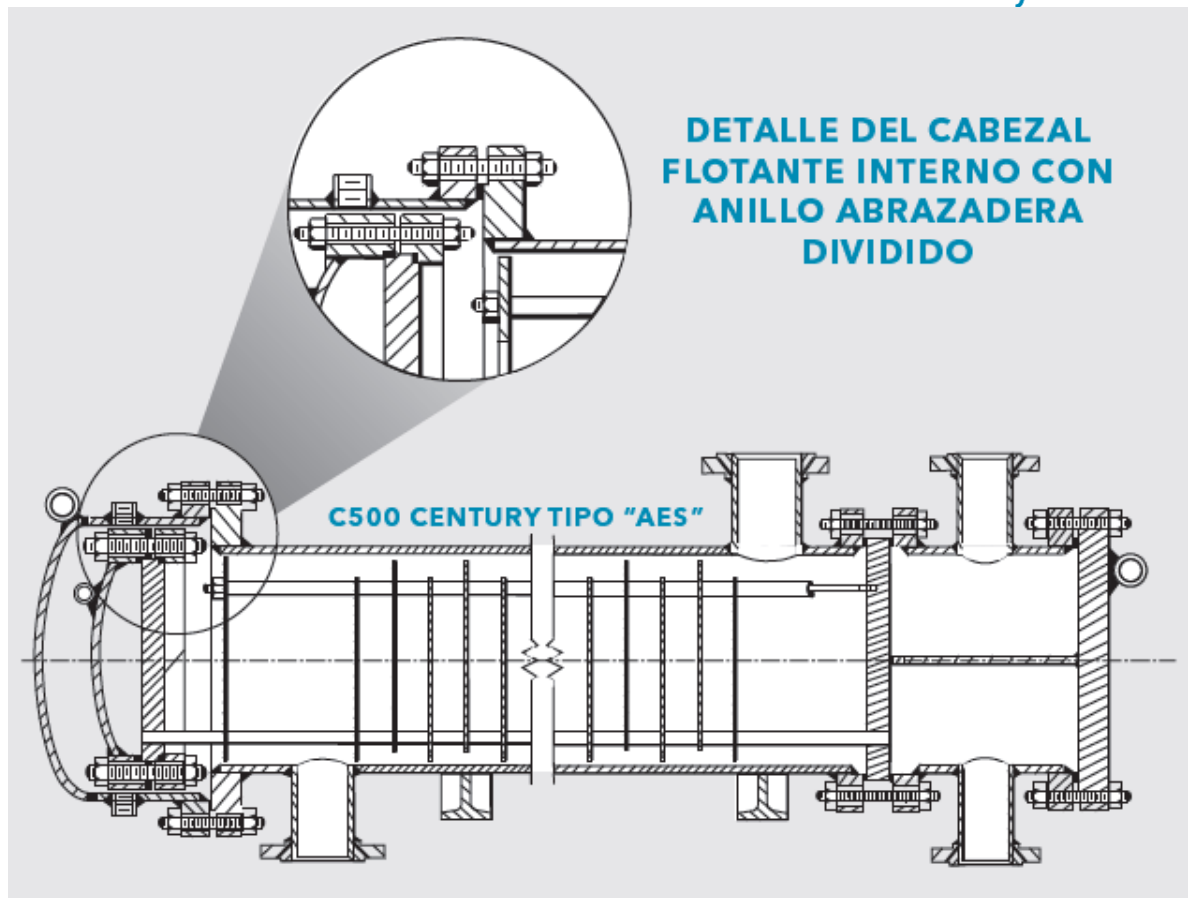
	PRESIÓN DE DISEÑO	TEMPERATURA DE DISEÑO
Lado de tubos	75 – 450 Psi	-20 – 650°F
	517 – 3 102 KPa	-29 – 343°C
Lado de carcasa	75 – 300 Psi	-20 – 650°F
	517 – 2 068 KPa	-29 – 343°C

NOTA: Los diseños a la medida a 3 600 Psi/24 816 KPa y 1000°F/538°C, dependiendo del diámetro de la carcasa y de la temperatura de diseño.

DETALLES	VENTAJAS	LIMITACIONES
Tubo recto, cabezal flotante internoatornillado, construcción que permite extraer el haz de tubos.	El haz de tubos puede quitarse de la carcasa para limpieza o mantenimiento.	Menos superficie para transferencia de calor por tamaño dado de carcasa y tubos que en otros diseños de haz de tubos removible.
Arreglos de pasos múltiples para lograr una máxima eficiencia con una amplia variedad de caudales del lado de los tubos.	La ausencia de juntas con empaquetadura permite el uso de fluidos volátiles o tóxicos. Amplia área de entrada al haz de tubos.	El más costoso de todos los tipos básicos de diseño de intercambiadores de calor. No es posible detectar fugas en la
Tamaños estándar de carcasa de 8 pulgadas a 42 pulgadas de diámetro; diseños a la medida hasta 60 pulgadas de diámetro.	Permite la expansión térmica diferencial entre carcasa y tubos. El haz de tubos puede quitarse sin quitar la cubierta del cabezal flotante.	empaquetadura del cabezal flotante.

C500 CENTURY®

Standard **Xchange**
a xylem brand



	PRESIÓN DE DISEÑO	TEMPERATURA DE DISEÑO
Lado de tubos	75 – 450 Psi	-20 – 650°F
	517 – 3 102 KPa	-29 – 343°C
Lado de carcasa	75 – 300 Psi	-20 – 650°F
	517 – 2 068 KPa	-29 – 343°C

NOTA: Los diseños a la medida a 3 600 Psi/24 816 KPa y 1000°F/538°C, dependiendo del diámetro de la carcasa y de la temperatura de diseño.

DETALLES	VENTAJAS	LIMITACIONES
Tubo recto, cabezal flotante interno con anillo abrazadera dividido, haz de tubos removible.	Mayor área de transferencia de calor por tamaño dado de carcasa y tubos que los diseños extraíbles (tipos AET o BET).	La cubierta de la carcasa, y la cubierta del cabezal flotante y anillo abrazadera deben quitarse antes de quitar el haz de tubos. Esto implica un costo de mantenimiento más alto comparado con los diseños extraíbles (AET o BET).
Arreglos de pasos múltiples para lograr una máxima eficiencia con una amplia variedad de caudales del lado de los tubos.	Permite la expansión térmica diferencial entre carcasa y tubos. La ausencia de juntas con empaquetadura permite el uso de fluidos volátiles y/o tóxicos.	Más costoso que los diseños de placa tubular fija y tubos en U.
Tamaños estándar de carcasa de 6 pulgadas a 42 pulgadas de diámetro; diseños a la medida hasta 60 pulgadas de diámetro.	Brinda arreglos de tubos de pasos múltiples.	
Disponibles para montaje horizontal o vertical.	El haz de tubos puede quitarse para la limpieza y el mantenimiento del lado de la carcasa.	

ANEXO 14: CARACTERISTICAS DE LA BOMBA



BOMBA DE PROCESO OMEL – MODELO UND/II (ANSI/ASME B73.1M)

INTRODUCTION

The generation of process pumps UND/II, attends integrally the specifications contained on the ANSI/ASME B73.1 standards, last edition and continues being improved, offering to its users always a superior pump, with high efficiency, excellent performance and a MTBPM (Medium Time Between Planned Maintenance) always improved, which guarantees its reputation of highest reliability in the toughest process conditions.

Completely renewed and offering the last technical advances that have become

ANSI/ASME pumps leader pumps in the whole world, UND/II presents itself as one of the best process pumps manufactured.



CARACTERISTICAS GENERALES

- Capacities: up to 2000 m³/h.
- Heads: up to 230 m.
- Temperatures: from -100°C to 260°C. Special executions to 370°C.
- Pressures: up to 26 Kgf/cm².
- Power: up to 750 hp.
- Efficiency: 80%

APPLICATIONS

Owing to its qualities UND/II pumps are applied in a great variety of processes and industries as:

- CHEMICAL: transfer of a great variety of products, corrosive or not, loading and unloading of acids, transfer of organics, and pumping of products like sulfur, urea, liquefied gases, solvents, monomers, polymers and other organic or inorganic chemical products.
- PETROCHEMICAL: pumping of aromatic products, light hydrocarbons, heat transfer products, top and bottom reflux, gas oil, condensates, etc.
- PULP AND PAPER: digesters make up, pumping of green, black and white liquors, light pulps, coating products like clay and titanium dioxide, etc.

- MINING AND MET AL MILLS: waste acid recovery, gas scrubber service, acid transfer and recirculation, acid loading and unloading operations, etc.
- FOOD INDUSTRY: pumping of juices, emulsions, suspensions, cane juice, heat transfer products, condensates, ammonium, sugar solutions, alcohols, etc...
- GENERAL INDUSTRY: in textile, pharmaceutical, pollution control, chilled water, condensates, acid recovery, recirculation of electrolytic and dyeing solutions, scrubbers, filter feeding, etc.

DESIGN FEATURES

1. SUPERBOX, enlarged seal chamber is standard in all UND/II pumps. Increases the liquid circulation in the sealing box and consequently in the mechanical seal faces, reducing temperature, simultaneously pushing away from the same, solids contained in the pumped liquid, by centrifugal action, allowing also a better lubrication. The design allows the change from mechanical seal to packing and vice-versa in the field, without the need of special tools or additional machining. Completely open and taper bore sealing box chamber CONEBOX, offered optionally, allows the mounting of simple or dual cartridge seals providing high degree of lubrication or cooling. SUPERBOX or CONEBOX allows the adoption and mounting of the most different type of sealing systems for any specific operation condition. Simple, double, tandem, or dual cartridge type seals and its accessories or optional are installed in these sealing boxes, which have big dimensions allowing also easy maintenance.
2. Open impeller is standard, pumps efficiently clean or charged liquids. Optionally the open impellers are supplied with an exclusive locking device which prevents the impeller looseness during accidental reverse rotation. Enclosed impellers are also supplied on request for special duties or applications.
3. Bearings for 25000 operation hours with maximum loads and continuous duty.
4. Maximum shaft deflection is 0,002".
5. Labyrinth type seals optionally mounted in bearing housings positively prevent premature bearing failure caused by lubricant contamination.
6. The optional bearing frame cooling chamber for high temperature services.
7. Simple external impeller adjustment to keep the high original efficiency. Long term energy saving.
8. Lubrication flexibility allowing constant level oiler and optionally, oil mist or grease lubrication.
9. Ductile iron adapter. Similar resistance to carbon steel. Higher security guarantee.
10. Casing, rear cover and adapter are provided with adjusted fits, to assure the perfect concentricity between shaft and sealing chamber, increase of mechanical seals and bearings life.
11. Optionally available SAE 4140 heavy duty shaft reduces L3/D4 increasing shaft rigidity and therefore bearings and mechanical seal life. Improves reability.
12. Optionally double row thrust bearing, can be changed by two single row angular contact ball bearings 40° and O mounting. This mounting is indicated

for processes where the mechanical assembly must support high operational duties.

«LEY ORGÁNICA DE RECURSOS GEOTÉRMICOS»

	<u>Artículos</u>
Título I: Actividades geotérmicas	
Capítulo I: Disposiciones Generales	1-3
Capítulo II: Areas de recursos geotérmicos	4-9
Capítulo III: Derechos diversos coexistentes	10-12
Título II: Derechos geotérmicos	
Capítulo I: Autorizaciones	13-15
Capítulo II: Concesiones	16-19
Título III: Derechos comunes	20-22
Título IV: Obligaciones comunes	23
Título V: Extinción de los derechos geotérmicos	24-26
Título VI: Jurisdicción administrativa	27
Título VII: Procedimientos	28-31
Título VIII: Garantías de promoción a la inversión	
Capítulo I: Impuesto a la renta	32-36
Capítulo II: Derechos arancelarios	37-39
Capítulo III: Contabilidad	40
Capítulo IV: Garantías	41-42
Capítulo V: Ingresos del Estado	43-46
Título IX: Protección del ambiente	47-49
Título X: Disposiciones complementarias, transitorias y finales	
Capítulo I: Disposiciones complementarias	Dos
Capítulo II: Disposiciones transitorias	Dos

"Refrigerante Amoniaco"

Ntv=0.88
Nb=0.8
m_geo=15
T1_geo=270
T2_geo=105
C_geo=4.1858
C=1.794
m_gas=(m_geo*C_geo*(T1_geo-T2_geo))/(C*(T[1]-T[4]))
Ngen=0.96
Ntm=0.87

"ESTADO 1"

P[1]=10[BAR]
T[1]=120[C]

H[1]=ENTHALPY(Ammonia,T=T[1],P=P[1])
S[1]=ENTROPY(Ammonia,T=T[1],P=P[1])
T_sat[1]=T_SAT(Ammonia,P=P[1])

"ESTADO 2"

S[2]=S[1]
P[2]=0.65[BAR]
H[2]=ENTHALPY(Ammonia,S=S[2],P=P[2])

Hr[2]=H[1]-Ntv*(H[1]-H[2])
T[2]=TEMPERATURE(Ammonia,H=H[2],P=P[2])
Sr[2]=ENTROPY(Ammonia,H=Hr[2],P=P[2])
Tr[2]=TEMPERATURE(Ammonia,H=Hr[2],P=P[2])

"ESTADO 3"

P[3]=P[2]
X[3]=0
H[3]=ENTHALPY(Ammonia,P=P[2],X=X[3])
S[3]=ENTROPY(Ammonia,P=P[2],X=X[3])
T[3]=T_SAT(Ammonia,P=P[2])

N_planta=(H[1]-Hr[2])/(H[1]-H[4])

"ESTADO 4"

V[3]=VOLUME(Ammonia,P=P[3],X=X[3])
T[4]=TEMPERATURE(Ammonia,H=H[4],P=P[4])
H[4]=H[3]+V[3]*(P[1]-P[2])*100
P[4]=P[1]
S[4]=ENTROPY(Ammonia,T=T[4],P=P[4])
Sr[4]=ENTROPY(Ammonia,H=Hr[4],P=P[4])
Tr[4]=TEMPERATURE(Ammonia,H=Hr[4],P=P[4])

Hr[4]=H[3]-(H[3]-H[4])/Nb

W_tv=(H[1]-Hr[2])
P_bomba=(H[4]-H[3])*m_gas
P_neta=Ptv-P_bomba
Ptv=m_gas*(H[1]-Hr[2])
Pgen=P_neta*Ntm*Ngen

"Refrigerante N-Butane"

Ntv=0.88
Nb=0.8
m_geo=15
T1_geo=270
T2_geo=105
C_geo=4.1858
C=1.794
m_gas=(m_geo*C_geo*(T1_geo-T2_geo))/(C*(T[1]-T[4]))
Ngen=0.96
Ntm=0.87

"ESTADO 1"

P[1]=10[BAR]
T[1]=120[C]

H[1]=ENTHALPY(n-Butane,T=T[1],P=P[1])
S[1]=ENTROPY(n-Butane,T=T[1],P=P[1])
T_sat[1]=T_SAT(n-Butane,P=P[1])

"ESTADO 2"

S[2]=S[1]
P[2]=0.65[BAR]
H[2]=ENTHALPY(n-Butane,S=S[2],P=P[2])

Hr[2]=H[1]-Ntv*(H[1]-H[2])
T[2]=TEMPERATURE(n-Butane,H=H[2],P=P[2])
Sr[2]=ENTROPY(n-Butane,H=Hr[2],P=P[2])
Tr[2]=TEMPERATURE(n-Butane,H=Hr[2],P=P[2])

"ESTADO 3"

P[3]=P[2]
X[3]=0
H[3]=ENTHALPY(n-Butane,P=P[2],X=X[3])
S[3]=ENTROPY(n-Butane,P=P[2],X=X[3])
T[3]=T_SAT(n-Butane,P=P[2])

N_planta=(H[1]-Hr[2])/(H[1]-H[4])

"ESTADO 4"

V[3]=VOLUME(n-Butane,P=P[3],X=X[3])

T[4]=TEMPERATURE(n-Butane,H=H[4],P=P[4])
H[4]=H[3]+V[3]*(P[1]-P[2])*100
P[4]=P[1]
S[4]=ENTROPY(n-Butane,T=T[4],P=P[4])
Sr[4]=ENTROPY(n-Butane,H=Hr[4],P=P[4])
Tr[4]=TEMPERATURE(n-Butane,H=Hr[4],P=P[4])

Hr[4]=H[3]-(H[3]-H[4])/Nb

W_tv=(H[1]-Hr[2])
P_bomba=(H[4]-H[3])*m_gas
P_neta=Ptv-P_bomba
Ptv=m_gas*(H[1]-Hr[2])
Pgen=P_neta*Ntm*Ngen

“Refrigerante Isopentane”

Ntv=0.88
Nb=0.8
m_geo=15
T1_geo=270
T2_geo=105
C_geo=4.1858
C=1.794
m_gas=(m_geo*C_geo*(T1_geo-T2_geo))/(C*(T[1]-T[4]))
Ngen=0.96
Ntm=0.87

"ESTADO 1"

P[1]=10[BAR]
T[1]=120[C]

H[1]=ENTHALPY(Isopentane,T=T[1],P=P[1])
S[1]=ENTROPY(Isopentane,T=T[1],P=P[1])
T_sat[1]=T_SAT(Isopentane,P=P[1])

"ESTADO 2"

S[2]=S[1]
P[2]=0.65[BAR]
H[2]=ENTHALPY(Isopentane,S=S[2],P=P[2])

Hr[2]=H[1]-Ntv*(H[1]-H[2])
T[2]=TEMPERATURE(Isopentane,H=H[2],P=P[2])
Sr[2]=ENTROPY(Ammonia,H=Hr[2],P=P[2])
Tr[2]=TEMPERATURE(Isopentane,H=Hr[2],P=P[2])

"ESTADO 3"

P[3]=P[2]
X[3]=0
H[3]=ENTHALPY(Isopentane,P=P[2],X=X[3])
S[3]=ENTROPY(Isopentane,P=P[2],X=X[3])
T[3]=T_SAT(Isopentane,P=P[2])

N_planta=(H[1]-Hr[2])/(H[1]-H[4])

"ESTADO 4"

V[3]=VOLUME(Isopentane,P=P[3],X=X[3])
T[4]=TEMPERATURE(Isopentane,H=H[4],P=P[4])
H[4]=H[3]+V[3]*(P[1]-P[2])*100
P[4]=P[1]
S[4]=ENTROPY(Isopentane,T=T[4],P=P[4])
Sr[4]=ENTROPY(Isopentane,H=Hr[4],P=P[4])
Tr[4]=TEMPERATURE(Isopentane,H=Hr[4],P=P[4])

Hr[4]=H[3]-(H[3]-H[4])/Nb

W_tv=(H[1]-Hr[2])
P_bomba=(H[4]-H[3])*m_gas
P_neta=Ptv-P_bomba
Ptv=m_gas*(H[1]-Hr[2])
Pgen=P_neta*Ntm*Ngen

"Refrigerante Isobutane"

Ntv=0.88
Nb=0.8
m_geo=15
T1_geo=270
T2_geo=105
C_geo=4.1858
C=1.794
m_gas=(m_geo*C_geo*(T1_geo-T2_geo))/(C*(T[1]-T[4]))
Ngen=0.96
Ntm=0.87

"ESTADO 1"

P[1]=10[BAR]
T[1]=120[C]

H[1]=ENTHALPY(Isobutane,T=T[1],P=P[1])
S[1]=ENTROPY(Isobutane,T=T[1],P=P[1])
T_sat[1]=T_SAT(Isobutane,P=P[1])

"ESTADO 2"

S[2]=S[1]
P[2]=0.65[BAR]
H[2]=ENTHALPY(Isobutane,S=S[2],P=P[2])

Hr[2]=H[1]-Ntv*(H[1]-H[2])
T[2]=TEMPERATURE(Isobutane,H=H[2],P=P[2])
Sr[2]=ENTROPY(Isobutane,H=Hr[2],P=P[2])
Tr[2]=TEMPERATURE(Isobutane,H=Hr[2],P=P[2])

"ESTADO 3"

P[3]=P[2]
X[3]=0
H[3]=ENTHALPY(Isobutane,P=P[2],X=X[3])
S[3]=ENTROPY(Isobutane,P=P[2],X=X[3])
T[3]=T_SAT(Isobutane,P=P[2])

N_planta=(H[1]-Hr[2])/(H[1]-H[4])

"ESTADO 4"

V[3]=VOLUME(Isopentane,P=P[3],X=X[3])

T[4]=TEMPERATURE(Isobutane,H=H[4],P=P[4])
H[4]=H[3]+V[3]*(P[1]-P[2])*100
P[4]=P[1]
S[4]=ENTROPY(Isobutane,T=T[4],P=P[4])
Sr[4]=ENTROPY(Isobutane,H=Hr[4],P=P[4])
Tr[4]=TEMPERATURE(Isobutane,H=Hr[4],P=P[4])

Hr[4]=H[3]-(H[3]-H[4])/Nb

W_tv=(H[1]-Hr[2])
P_bomba=(H[4]-H[3])*m_gas
P_neta=Ptv-P_bomba
Ptv=m_gas*(H[1]-Hr[2])
Pgen=P_neta*Ntm*Ngen

"Refrigerante R152a"

Ntv=0.88
Nb=0.8
m_geo=15
T1_geo=270
T2_geo=105
C_geo=4.1858
C=1.794
m_gas=(m_geo*C_geo*(T1_geo-T2_geo))/(C*(T[1]-T[4]))
Ngen=0.96
Ntm=0.87

"ESTADO 1"

P[1]=10[BAR]
T[1]=120[C]

H[1]=ENTHALPY(R152a,T=T[1],P=P[1])
S[1]=ENTROPY(R152a,T=T[1],P=P[1])
T_sat[1]=T_SAT(R152a,P=P[1])

"ESTADO 2"

S[2]=S[1]
P[2]=0.65[BAR]
H[2]=ENTHALPY(R152a,S=S[2],P=P[2])

Hr[2]=H[1]-Ntv*(H[1]-H[2])
T[2]=TEMPERATURE(R152a,H=H[2],P=P[2])
Sr[2]=ENTROPY(R152a,H=Hr[2],P=P[2])
Tr[2]=TEMPERATURE(R152a,H=Hr[2],P=P[2])

"ESTADO 3"

P[3]=P[2]
X[3]=0
H[3]=ENTHALPY(R152a,P=P[2],X=X[3])
S[3]=ENTROPY(R152a,P=P[2],X=X[3])
T[3]=T_SAT(R152a,P=P[2])

N_planta=(H[1]-Hr[2])/(H[1]-H[4])

"ESTADO 4"

V[3]=VOLUME(R152a,P=P[3],X=X[3])

T[4]=TEMPERATURE(R152a,H=H[4],P=P[4])
H[4]=H[3]+V[3]*(P[1]-P[2])*100
P[4]=P[1]
S[4]=ENTROPY(R152a,T=T[4],P=P[4])
Sr[4]=ENTROPY(R152a,H=Hr[4],P=P[4])
Tr[4]=TEMPERATURE(R152a,H=Hr[4],P=P[4])

Hr[4]=H[3]-(H[3]-H[4])/Nb

W_tv=(H[1]-Hr[2])
P_bomba=(H[4]-H[3])*m_gas
P_neta=Ptv-P_bomba
Ptv=m_gas*(H[1]-Hr[2])
Pgen=P_neta*Ntm*Ngen

"Refrigerante Nitrogen"

Ntv=0.88
Nb=0.8
m_geo=15
T1_geo=270
T2_geo=105
C_geo=4.1858
C=1.794
m_gas=(m_geo*C_geo*(T1_geo-T2_geo))/(C*(T[1]-T[4]))
Ngen=0.96
Ntm=0.87

"ESTADO 1"

P[1]=10[BAR]
T[1]=120[C]

H[1]=ENTHALPY(Nitrogen,T=T[1],P=P[1])
S[1]=ENTROPY(Nitrogen,T=T[1],P=P[1])
T_sat[1]=T_SAT(Nitrogen,P=P[1])

"ESTADO 2"

S[2]=S[1]
P[2]=0.65[BAR]
H[2]=ENTHALPY(Nitrogen,S=S[2],P=P[2])

Hr[2]=H[1]-Ntv*(H[1]-H[2])
T[2]=TEMPERATURE(Nitrogen,H=H[2],P=P[2])
Sr[2]=ENTROPY(Nitrogen,H=Hr[2],P=P[2])
Tr[2]=TEMPERATURE(Nitrogen,H=Hr[2],P=P[2])

"ESTADO 3"

P[3]=P[2]
X[3]=0
H[3]=ENTHALPY(Nitrogen,P=P[2],X=X[3])
S[3]=ENTROPY(Nitrogen,P=P[2],X=X[3])
T[3]=T_SAT(Nitrogen,P=P[2])

N_planta=(H[1]-Hr[2])/(H[1]-H[4])

"ESTADO 4"

V[3]=VOLUME(Nitrogen,P=P[3],X=X[3])
T[4]=TEMPERATURE(Nitrogen,H=H[4],P=P[4])
H[4]=H[3]+V[3]*(P[1]-P[2])*100.
P[4]=P[1]
S[4]=ENTROPY(Nitrogen,T=T[4],P=P[4])
Sr[4]=ENTROPY(Nitrogen,H=Hr[4],P=P[4])
Tr[4]=TEMPERATURE(Nitrogen,H=Hr[4],P=P[4])

Hr[4]=H[3]-(H[3]-H[4])/Nb

W_tv=(H[1]-Hr[2])
P_bomba=(H[4]-H[3])*m_gas
P_neta=Ptv-P_bomba
Ptv=m_gas*(H[1]-Hr[2])
Pgen=P_neta*Ntm*Ngen