

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



**“Evaluación del fluido de operación en el performance del ciclo binario
mediante energía geotérmica en la Región 2 – Ancash, 2022”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN ENERGÍA**

AUTORES:

Bach. Pérez Gonzáles, Víctor Manuel

Código ORCID: 0009-0006-2622-9753

Bach. Velásquez Villafana, Juan Carlos

Código ORCID: 0000-0002-2763-1174

ASESOR:

M.Sc. Chucuya Huallpachoque, Roberto Carlos

DNI N° 40149444

Código ORCID: [0000-0001-9175-5545](https://orcid.org/0000-0001-9175-5545)

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

Noviembre – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente informe final de Tesis para Título ha sido revisado y desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa (Resolución N° 337-2024-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN ENERGÍA**

**“Evaluación del fluido de operación en el performance del ciclo binario
mediante energía geotérmica en la Región 2 – Ancash, 2022”**

AUTORES:

Bach. Pérez Gonzáles, Víctor Manuel

Bach. Velásquez Villafana, Juan Carlos

M.Sc. Chucuya Huallpachoque, Roberto Carlos

DNI: 40149444

Código ORCID: 0000-0001—9175-5545

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

El presente Jurado Evaluador da la conformidad del presente informe, desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presentado con forme al Reglamento General para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, titulado:

“Evaluación del fluido de operación en el performance del ciclo binario mediante energía geotérmica en la Región 2 – Ancash, 2022”

AUTORES:

Bach. Pérez Gonzáles, Víctor Manuel.

Bach. Velásquez Villafana, Juan Carlos

Revisado y evaluado por el siguiente Jurado Evaluador:

Mg. José Luis Castillo Ventura

PRESIDENTE

DNI: 32781530

CÓD. ORCID: 0000-0002-09053024

M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate
Ravello.

SECRETARIO

DNI: 32850228

CÓD. ORCID: 0000-0001-9950-2999

M.Sc. Roberto Carlos Chucuya
Hualpachoque

INTEGRANTE

DNI: 40149444

CÓD. ORCID: 0000-0001-9175-5545



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 7:30 a.m., del día viernes 20 del mes de diciembre del año dos mil veinticuatro, en el Aula E-3 de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, en cumplimiento al Art. 68 del Reglamento General de Grados y Títulos, aprobado con Resolución N°337-2024-CU-R-UNS de fecha 12.04.24, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 800-2024-UNS-CFI** de fecha 05.12.24, integrado por los siguientes docentes:

- Mg. José Luis Castillo Ventura : Presidente
- M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello : Secretario
- M.Sc. Roberto Carlos Chucuya Huallpachoque : Integrante

Y según la **Resolución Decanal N°853-2024-UNS-FI de fecha 18.12.24.**, se **DECLARA EXPEDITO** a los bachilleres para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis, titulada: **“EVALUACIÓN DEL FLUIDO DE OPERACIÓN EN EL PERFORMANCE DEL CICLO BINARIO MEDIANTE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN LA REGIÓN 2 – ÁNCASH, 2022”**, perteneciente a los bachilleres: **VELÁSQUEZ VILLAFANA JUAN CARLOS** con código de matrícula **N°0200111038** y **PÉREZ GONZALES VÍCTOR MANUEL** código de matrícula **N°0199511036**, teniendo como asesor al docente **M.Sc. Roberto Carlos Chucuya Huallpachoque**, según Resolución Decanal N°376-2022-UNS-FI de fecha 30.06.22.

Terminada la sustentación del bachiller, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 73° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
PÉREZ GONZALES VÍCTOR MANUEL	17	BUENO

Siendo las 11:00 a.m. del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.


Mg. José Luis Castillo Ventura
PRESIDENTE


M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello
SECRETARIO


M.Sc. Roberto Carlos Chucuya Huallpachoque
INTEGRANTE



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 7:30 a.m., del día viernes 20 del mes de diciembre del año dos mil veinticuatro, en el Aula E-3 de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, en cumplimiento al Art. 68 del Reglamento General de Grados y Títulos, aprobado con Resolución N°337-2024-CU-R-UNS de fecha 12.04.24, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 800-2024-UNS-CFI** de fecha 05.12.24, integrado por los siguientes docentes:

- Mg. José Luis Castillo Ventura : Presidente
- M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello : Secretario
- M.Sc. Roberto Carlos Chucuya Huallpachoque : Integrante

Y según la **Resolución Decanal N°853-2024-UNS-FI de fecha 18.12.24.**, se **DECLARA EXPEDITO** a los bachilleres para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis, titulada: **“EVALUACIÓN DEL FLUIDO DE OPERACIÓN EN EL PERFORMANCE DEL CICLO BINARIO MEDIANTE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN LA REGIÓN 2 - ÁNCASH, 2022”**, perteneciente a los bachilleres: **VELÁSQUEZ VILLAFANA JUAN CARLOS** con código de matrícula **N°0200111038** y **PÉREZ GONZALES VÍCTOR MANUEL** código de matrícula **N°0199511036**, teniendo como asesor al docente **M.Sc. Roberto Carlos Chucuya Huallpachoque**, según Resolución Decanal N°376-2022-UNS-FI de fecha 30.06.22.

Terminada la sustentación del bachiller, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 73° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
VELÁSQUEZ VILLAFANA JUAN CARLOS	17	BUENO

Siendo las 11:00 a.m. del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.


Mg. José Luis Castillo Ventura
PRESIDENTE


M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello
SECRETARIO


M.Sc. Roberto Carlos Chucuya Huallpachoque
INTEGRANTE



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: **Juan Carlos Velasquez Villafana**
Título del ejercicio: **PROYECTO DE TESIS**
Título de la entrega: **Informe de Tesis**
Nombre del archivo: **INFORME_DE_TESIS_2024_CICLO_BINARIO.pdf**
Tamaño del archivo: **1.66M**
Total páginas: **33**
Total de palabras: **8,461**
Total de caracteres: **43,190**
Fecha de entrega: **22-nov.-2024 09:19p. m. (UTC-0500)**
Identificador de la entrega: **2316955748**



Informe de Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083 Fuente de Internet	2%
2	www.ptolomeo.unam.mx:8080 Fuente de Internet	1%
3	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	1%
4	iea.blob.core.windows.net Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	dokumen.pub Fuente de Internet	1%
7	idoc.tips Fuente de Internet	1%
8	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
9	Submitted to Universidad de Cantabria Trabajo del estudiante	1%

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por su constante bendición y cuidado, así como por brindarme la oportunidad de completar mis estudios profesionales en Ingeniería en Energía. Mi madre, Zoila Gonzáles, ha sido una fuente inagotable de apoyo incondicional, amor y sabios consejos. Siempre ha creído en mí y ha sido la fuerza que me ha impulsado a seguir adelante, convirtiéndose en el pilar fundamental de mi éxito profesional. Le estoy eternamente agradecido. Mi padre, Manuel Pérez Guzmán, también ha sido un gran apoyo en mi camino. Agradezco a mis padres por darme la vida y por su constante respaldo en todas mis metas. Mi hermano mayor, Alberto Pérez Gonzáles (QEPD), fue un ejemplo a seguir en la familia, inculcándome siempre la importancia del estudio y la superación personal, mi hermana Mercedes Pérez Gonzáles por su constante apoyo. Por último, agradezco a toda mi familia, mis buenos amigos, mis estimados docentes, por su apoyo inquebrantable a lo largo de mi trayectoria académica y profesional.

Victor Manuel Pérez Gonzáles

Quiero empezar agradeciendo a Dios por siempre protegerme y cuidarme, asimismo una dedicatoria especial a mi madre Rossana Villafana en el cielo, gracias a los sabios consejos que ella me brindaba, he podido cumplir esta meta. Sé que nunca podré devolverte todo lo que has hecho por mí, ya que partiste sin ver uno de nuestros sueños cumplidos, pero quiero que sepas que te amo profundamente, mamita. Además, quiero dedicar esta tesis a mi esposa Juanita Álvarez, a mis hijos Marcos Reymer y Juan Diego, a mi hermana Yessica Velásquez, a Luis A. Sánchez M., a todos mis familiares y amigos que me animaron y apoyaron a superar los desafíos y a conseguir el éxito académico. También, a nuestros profesores y mentores, cuya guía y conocimiento nos han enriquecido y moldeado, no solo como estudiantes, sino como personas de bien. Esperamos sinceramente que esta tesis contribuya de alguna manera al avance del conocimiento y al bienestar de la sociedad. Gracias amigos y familiares que creyeron en mí y me alentaron a alcanzar mis metas.

Juan Carlos Velásquez Villafana

AGRADECIMIENTO

En especial, deseo destacar la invaluable contribución de nuestro asesor, M.Sc. Roberto Carlos Chucuya Huallpachoque, su vasto conocimiento y disciplina fueron fundamentales para convertir este trabajo de investigación en una realidad. Resaltar de nuestro asesor su calidad como persona, honestidad y rectitud.

Asimismo, deseo extender mi gratitud a la Universidad Nacional del Santa, mi alma mater, por brindarme la formación que recibí en sus aulas. Mi reconocimiento se extiende a la Escuela de Ingeniería en Energía, así como a los docentes, asesores y personal de la secretaría, cuyo apoyo y colaboración fueron de gran importancia en mi trayecto académico.

A nuestras familias y seres queridos, quienes han sido nuestra fuente constante de apoyo emocional y motivación. Su inquebrantable confianza en nosotros nos ha dado la fortaleza para perseverar en momentos de dificultad.

No puedo dejar de mencionar a mis amigos y compañeros, quienes compartieron conmigo ilusiones y anhelos a lo largo de estos años. Su apoyo, comprensión y solidaridad fueron invaluable. Agradezco su amistad y el espíritu de camaradería que compartimos durante esos años inolvidables, mientras nos preparamos para convertirnos en colegas en el futuro.

Victor y Juan

Índice general

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR.....	Error! Bookmark not defined.
Carta de conformidad del jurado	Error! Bookmark not defined.
Acta de sustentación.....	4
Acta de sustentación	5
Recibo turnitin	6
Reporte porcentual de turnitin	7
Dedicatoria.....	14
Agradecimiento.....	15
Índice general.....	16
Índice de tablas	18
Índice de figuras.....	19
Índice de anexos.....	19
Resumen.....	20
Abstract.....	21
I. INTRODUCCIÓN.....	22
1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	22
1.2. OBJETIVOS.....	23
1.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	24
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	24
II. MARCO TEÓRICO	26
2.1. ANTECEDENTES	26
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	28
2.2.1. <i>Ciclo Binario</i>	28
2.2.2. <i>Fluidos de Operación</i>	35
III. METODOLOGÍA.....	38
3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.2. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	38
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	39

3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	39
3.6.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	40
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1.	Resultados del objetivo específico 1: Identificación de las zonas de potencial energético geotérmico en la Región 2 – Ancash.....	42
4.2.	Resultados del objetivo específico 2: Modelamiento de la Planta de Energía Geotérmica Binaria con temperaturas de campo e influencia de la presión de operación	45
4.3.	Resultados del objetivo específico 3: modelamiento de la planta de energía geotérmica binaria con temperaturas de campo e influencia del fluido de operación.....	49
4.4.	Resultados del objetivo específico 4: Análisis del performance de la Planta de Energía Geotérmica Binaria en diversos escenarios de operación	50
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
5.1.	CONCLUSIONES	52
5.2.	RECOMENDACIONES	53
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
VII.	ANEXOS.....	58

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Propiedades ambientales y de salud de los fluidos de trabajo estudiados en ciclos binarios</i>	36
Tabla 2 <i>Nivel de aprovechamiento de la Temperatura Superficial (TSup) y Temperatura Geotérmica (TGeo) mediante aproximación</i>	44
Tabla 3 <i>Valores de Temperatura Superficial (TSup) y Temperatura Geotérmica (TGeo)</i>	45
Tabla 4 <i>Valores de iniciales para el modelamiento del ciclo binario</i>	46
Tabla 5 <i>Propiedades termodinámicas del ciclo binario. Fluido de operación Isopentano.</i>	47
Tabla 6 <i>Propiedades termodinámicas del ciclo binario. Fluido de operación Isobutano. ..</i>	48
Tabla 7 <i>Propiedades termodinámicas del ciclo binario. Fluido de operación R245fa</i>	48
Tabla 8 <i>Resultados del modelamiento de la Planta de Energía Geotérmica Binaria en diversos fluidos de operación</i>	50
Tabla 9 <i>Resultados del modelamiento de la Planta de Energía Geotérmica Binaria en diversos fluidos de operación</i>	51

Índice de figuras

Figura 1 <i>Ciclo binario con vapor saturado de una central de generación eléctrica.</i>	29
Figura 2 <i>Ciclo binario con vapor sobrecalentado de una central de generación eléctrica.</i>	30
Figura 3 <i>Ciclo binario de agua pura, típico diagramas T-s, sobrecalentado (derecha) y saturado (izquierda).</i>	31
Figura 4 <i>Planta de Energía Geotérmica Binaria (B-GPP) Convencional</i>	32
Figura 5 <i>Ciclo Binario Convencional de vapor saturado.</i>	33
Figura 6 <i>Ciclo Binario Modificado de vapor saturado</i>	33
Figura 7 <i>Ciclo Binario Modificado de vapor saturado</i>	34
Figura 8 <i>Tipos de fluidos de trabajo: seco, isentrópico y húmedo, aplicables a Ciclo Binario</i>	37
Figura 9 <i>Mapa Geotérmico del Perú (Actualizado).</i>	42
Figura 10 <i>Aguas termales de Monterrey (Huaraz) y Chancos (Carhuaz)</i>	43
Figura 11 <i>Toma de temperaturas en Monterrey–Huaraz (a, b) y Chancos–Carhuaz (c, d).</i>	43
Figura 12 <i>Aproximación lineal de datos de campo (Beltran A., 1999).</i>	44
Figura 13 <i>Ciclo Binario modelado (Izquierda) acercamiento térmico (derecha).</i>	46
Figura 14 <i>Modelamiento del Ciclo Binario a diversas presiones del evaporador para los fluidos de operación: (a) isopentano, (b) isobutano y (c) R245fa</i>	47
Figura 15 <i>Diagrama termodinámico Ts, para el Ciclo Binario para los fluidos de operación: (a) isopentano, (b) isobutano y (c) R245fa.</i>	49
Figura 16 <i>Performance de la Planta de Energía Geotérmica Binaria en diversos fluidos de operación. Eficiencia de utilización y Eficiencia térmica.</i>	51

Índice de anexos

Anexo 1. <i>Ficha técnica de Termómetro para suelo Compost</i>	58
Anexo 2. <i>Ficha técnica de Termómetro TM – 902C</i>	60
Anexo 3. <i>Ficha técnica de Sensor de sonda termopar TP02</i>	61
Anexo 4. <i>Ficha técnica de Sonda Termopar Tipo K</i>	62
Anexo 5 <i>Ficha técnica de Pirómetro Infrarrojo Láser</i>	63
Anexo 6. <i>Ficha técnica de Termohigrómetro LCD</i>	65

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el fluido de operación en el performance del ciclo binario mediante energía geotérmica en la región 2 – Áncash, 2022. La investigación posee un enfoque cuantitativo con un diseño experimental, midiendo la temperatura superficial de la fuente geotérmica, se utilizó el programa EES (Engineering Equation Solver) para el modelado termodinámico del Ciclo Binario, con tres fluidos de operación Isopentano, Isobutano y R245fa.

Los resultados obtenidos fue que el ciclo binario opera con mayor disponibilidad y eficiencia a 450 kPa para CB con isopentano, 1300 kPa para CB con Isobutano y 1000 kPa para e CB con R245fa. Posteriormente, los parámetros operativos del ciclo binario, indican que CB con Isobutano presenta una mayor potencia neta respecto a los otros fluidos como Isopentano (8.8%) y R245fa (5.6%) a pesar que para el ciclo con Isobutano se requiere mayor consumo de potencia de bombeo 142.1 kW, sin embargo, este ciclo se ve compensado con una producción de trabajo en la turbina mayor que el ciclo con isopentano e R245fa. Además, se analizó el performance de la Planta de Energía Geotérmica Binaria en diversos escenarios de operación, obteniéndose que el fluido Isopentano tiene un mejor comportamiento con una eficiencia de utilización de 45.7% y una eficiencia térmica de 13.3%.

PALABRAS CLAVE: Ciclo Binario, Fluido geotérmico, eficiencia de utilización y térmica.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the operating fluid in the performance of the binary cycle using geothermal energy in region 2 - Áncash, 2022. The research has a quantitative approach with an experimental design, measuring the surface temperature of the geothermal source, the EES (Engineering Equation Solver) program was used for the thermodynamic modeling of the Binary Cycle, with three operating fluids Isopentane, Isobutane and R245fa.

The results obtained were that the binary cycle operates with greater availability and efficiency at 450 kPa for CB with isopentane, 1300 kPa for CB with Isobutane and 1000 kPa for CB with R245fa. Subsequently, the operating parameters of the binary cycle indicate that CB with Isobutane presents a higher net power compared to other fluids such as Isopentane (8.8%) and R245fa (5.6%) despite the fact that the cycle with Isobutane requires a higher pumping power consumption of 142.1 kW, however, this cycle is compensated with a work production in the turbine greater than the cycle with isopentane and R245fa. In addition, the performance of the Binary Geothermal Power Plant was analyzed in various operating scenarios, obtaining that the Isopentane fluid has a better performance with a utilization efficiency of 45.7% and a thermal efficiency of 13.3%.

KEYWORDS: Binary Cycle, Geothermal fluid, utilization efficiency and thermal.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Realidad problemática, en el mundo actualmente, la temperatura media mundial de la superficie ya está alrededor de 1,2 °C por encima de los niveles preindustriales, lo que provoca olas de calor y otros fenómenos meteorológicos extremos, y las emisiones de gases de efecto invernadero aún no han alcanzado su punto máximo. El sector energético es también el principal causante del aire contaminado que más del 90% de la población mundial se ve obligada a respirar, lo que está relacionado con más de 6 millones de muertes prematuras al año. Las tendencias positivas en la mejora del acceso a la electricidad y la cocina limpia se han ralentizado o incluso revertido en algunos países (International Energy Agency, 2023). En España, según el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, se propone: 23% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), 42% de renovables sobre el uso final de la energía, 39,5% de mejora de la eficiencia energética y 74% de energía renovable en la generación eléctrica. Este objetivo supone la reducción de, al menos, un 90% de las emisiones brutas totales de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990 para 2050. Además, se persigue alcanzar para esa fecha un sistema eléctrico 100% renovable (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020). Es por ello que, en los últimos años, los recursos de energía renovable han recibido un enorme interés debido a las realidades del mercado eléctrico y las preocupaciones ambientales. Entre las energías renovables, la geotérmica es una fuente prometedora debido a su consistencia y fiabilidad (Zare, 2015).

A nivel nacional, en el año 2008, el Perú implementó importantes medidas de políticas de transición energética, en particular la creación del Ministerio del Ambiente y la promulgación del Decreto Legislativo 1002 ((OSINERMIN, 2008), que tuvo como objetivo promover el uso del RER, estableciendo lineamientos para definir los porcentajes de contribución del RER en la generación de energía eléctrica. También determinó una fuente de financiamiento para subsidiar los precios de venta de RER y la realización de subastas para proyectos con generación de RER, entre otras medidas. En 2017 se cumplió el objetivo de generar electricidad en un 5% a través de RER (Campodónico & Carrera, 2022). En ese sentido, sobre los RER basado en energía geotérmica, el Perú es uno de los países de Sudamérica que cuenta con un gran potencial geotérmico, nuestro país tiene más de 500 fuentes termales distribuidas a lo largo de todo su territorio. La presencia de volcanes y fuentes termales permiten que el Perú sea un país con potencial geotérmico

estimado a la actualidad en 3000 megavatios eléctricos (Mve). Este potencial se ve distribuido en las seis (6) regiones geotermales siendo la Región 5 “Eje volcánico sur” con actividad volcánica, la que representa a sistemas geotermales con más alto potencial (Ministerio de Energía y Minas, 2023). A nivel local, el Callejón de Huaylas está definida como Región 2, según la clasificación de las áreas con potencial geotérmico, cuenta con un Área: 27 766 km². Las regiones principales: Áncash y como regiones parciales: La Libertad y Huánuco. En esta zona no se presentan vulcanismo. La manifestación geotermal determinada es de 39 manantiales geotermales con temperaturas hasta los 89 °C, se tiene estudios de exploración correspondiente a Inventario y composición química de la zona. Finalmente, la estimación del potencial geotérmico: 236 MWe a partir de los datos de manantiales geotermales (INGEMET, 2023).

Enunciado del problema, ante la necesidad de fomentar la inversión en el desarrollo de energías renovables, la legislación nacional ha incluido a la Geotermia como un recurso más para la generación de energía eléctrica en el Perú, es importante resaltar el compromiso peruano en la COP 20, de cubrir el 5% de la energía total generada con estos recursos. Es así que nos planteamos el siguiente problema de investigación:

¿Mediante la evaluación del fluido de operación es posible mejorar en el performance del ciclo binario mediante energía geotérmica en la región 2 – Áncash, 2022?

1.2. OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar el fluido de operación en el performance del ciclo binario mediante energía geotérmica en la región 2 – Ancash, 2022

Objetivos específicos:

Identificar las zonas de potencial energético geotérmico en la Región 2 - Ancash.

Modelar la Planta de Energía Geotérmica Binaria con temperaturas de campo e influencia de la presión de operación.

Modelar la Planta de Energía Geotérmica Binaria con temperaturas de campo e influencia del fluido de operación.

Analizar el performance de la Planta de Energía Geotérmica Binaria en diversos escenarios de operación.

1.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La identificación del producto de la evaluación del fluido de operación se mejora en un 10% el performance del ciclo binario mediante energía geotérmica en la región 2 – Áncash, 2022

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La investigación se centra en la evaluación del potencial uso y el rendimiento de la energía geotérmica en la Región 2 - Ancash como una alternativa a los métodos convencionales de generación eléctrica. Se justifica desde el punto de vista medioambiental, el propósito de esta investigación es promover el desarrollo sostenible mediante el uso de fuentes de energía limpias y la explotación natural del calor del interior de la tierra. Además del aporte en el mundo dado el avance de la tecnología geotérmica ha sido implementada con éxito en diversas regiones. Aunque existen numerosos documentos que presentan estudios similares en distintas ubicaciones, es importante tener en cuenta que los entornos tecnológicos, políticos, socioeconómicos y culturales son diversos, y que las condiciones ambientales varían significativamente en cada área geográfica. Se justifica desde el punto de vista operativo, el propósito de esta evaluación se convertirá en una base sólida para el desarrollo de proyectos a mayor escala en nuestro país. Esto incluye la implementación de centrales geotérmicas en la apreciada Región 2 - Ancash. Estos proyectos no solo contribuirán a la generación de energía sostenible, sino que también respaldarán el crecimiento y desarrollo económico de la región. Por tal motivo resaltamos que los mayores desafíos del siglo actual es el aumento en el costo de los recursos fósiles, debido al agotamiento de recursos no renovables, y el cambio climático causado por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este aumento de GEI es principalmente resultado del excesivo consumo de energía. En respuesta a esta problemática, investigadores y científicos han estado trabajando en el perfeccionamiento de novedosas formas de generación de energía limpia y renovable.

Finalmente debemos resultar que según un estudio publicado por la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2014) el Perú tiene un potencial de 69.445 MW de energía hidroeléctrica; 22.500 MW de energía eólica, localizada principalmente en la costa peruana; 3.000 MW de energía geotérmica, y una potencia de energía solar con una irradiancia media diaria de 250W/m^2 . Las grandes centrales hidroeléctricas no entran en

la categoría de RER debido a los daños medioambientales y a la emisión de gas metano que conlleva su construcción. Las pequeñas centrales hidroeléctricas con una capacidad de generación de hasta 20 MW cuentan como RER. Este potencial energético, comparado con su nivel actual de uso, nos dice que el Perú tiene un alto potencial energético diversificado de RER para ser explotado.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Se realizó una revisión de las investigaciones actuales con relevancia entorno a los ciclos binarios u orgánicos, en los cuales podemos mencionar a (Hu et al., 2022b) en este artículo, se establece un modelo de sistema de generación de energía geotérmica orgánica de ciclo de Rankine (ORC) a baja temperatura. El R245fa se utiliza como fluido de trabajo circulante. El programa de cálculo se compila utilizando el software de cálculo de ingeniería EES, y se calculan teóricamente los parámetros termodinámicos y las propiedades termodinámicas de los principales puntos de estado del ORC. Se analizan los efectos de la diferencia de temperatura de punto estrecho, la temperatura de evaporación, la temperatura del agua geotérmica y la diferencia de temperatura final del condensador en el rendimiento del sistema. Los resultados muestran que la diferencia de temperatura de punto estrecho tiene un impacto significativo en el rendimiento del ORC.

Así también (Yaïci et al., 2020) identificaron que el ciclo orgánico de Rankine (ORC) como un sistema viable y adecuado para generar energía eléctrica a partir de fuentes renovables, basándose en su uso beneficioso de fluidos orgánicos volátiles como fluidos de trabajo, en los últimos tiempos, los investigadores también han mostrado una preferencia por el uso de mezclas zeotrópicas como fluidos de trabajo debido a su capacidad para mejorar el rendimiento termodinámico de los sistemas ORC. En el caso de las mezclas zeotrópicas, los resultados revelaron que existe un rango de composición óptimo dentro del cual las mezclas tienden a tener un rendimiento más eficiente que los fluidos puros. Además, se obtuvo una mejora sustancial en la eficiencia del ciclo mediante un ORC regenerativo, con una eficiencia del ciclo que oscila entre el 3,1 y el 9,8 % y el 8,6 y el 17,4 % para el ORC sin y con regeneración, respectivamente.

Además (Prasetyo et al., 2020) aplicaron (ORC) con fluido de trabajo R123 para generar electricidad a partir de recursos geotérmicos de baja temperatura. Por lo tanto, para lograr una alta eficiencia del sistema ORC requiere un parámetro de grado de vapor sobrecalentado. Este artículo presenta un estudio experimental sobre un ciclo binario, aplicando R123 como fluido de trabajo, para investigar el efecto de la variación en el grado de vapor sobrecalentado en la eficiencia del ORC. Las fuentes de calor geotérmicas se simulaban con aceite de conducción como fuente de calor externa para proporcionar calor de entrada al sistema ORC. El evaporador de entrada de temperatura alta fue diseñado para permanecer a 120 °C durante el experimento, mientras que el caudal másico

se ajustó para realizar variaciones de vapor sobrecalentado, es decir, se estableció en 278, 280, 282, 284 y 286 K.

(Lin et al., 2020) determinaron que ciclo orgánico de Rankine es una forma eficaz de recuperar el calor residual a baja temperatura, y un fluido de trabajo mixto puede mejorar eficazmente el rendimiento del ciclo orgánico de Rankine. Para encontrar el mejor fluido de trabajo puro y mixto de forma rápida y precisa, se seleccionan trece fluidos de trabajo puros y mezclas zeotrópicas de dos de esos fluidos para estudiar el rendimiento del ciclo orgánico de Rankine, y se selecciona la salida de potencia neta como función objetivo. Determinándose que el uso de esta mezcla dio como resultado una potencia neta de 424,63 kW, que es un 29,3 % superior a la del fluido de trabajo puro R227ea.

(Hu et al., 2022a) en su investigación utilizó R245fa como fluido de trabajo para construir una plataforma de prueba de transferencia de calor para el evaporador de película descendente de pulverización de tubería horizontal del sistema de generación de energía de ciclo orgánico de Rankine (ORC). Se estudia el efecto de factores como la densidad de pulverización del fluido de trabajo orgánico, la temperatura inicial del agua geotérmica y el flujo sobre el coeficiente de transferencia de calor fuera del tubo. Los resultados experimentales muestran que, con el aumento de la densidad de pulverización del fluido de trabajo orgánico, la temperatura inicial del agua geotérmica y el flujo del agua geotérmica, el coeficiente de transferencia de calor primero aumenta y luego disminuye.

(Xu et al., 2020) tienen como objetivo presentar por primera vez un estudio comparativo de tres modelos de evaporadores para sistemas de Recuperación de Calor Residual del Ciclo Orgánico de Rankine (ORC-WHR) utilizando el mismo conjunto de parámetros de identificación y datos experimentales. En este artículo se presentan tres modelos, que luego se validan con datos de experimentos recopilados en un sistema ORC-WHR de motor diésel de servicio pesado. En el proceso de comparación de modelos, se evalúa la precisión, el costo computacional y el esfuerzo de modelado. Los tres modelos muestran una precisión decente en la predicción de la temperatura del vapor del fluido de trabajo con un error medio de 6,6 K y un porcentaje de error medio del 1,27 % tanto en estado estable como en condiciones transitorias.

En esa misma línea, (Zhao et al., 2022) construyeron un modelo termodinámico del sistema y llevaron a cabo análisis energéticos y de exergía para revelar el potencial real de optimización, demostraron que los rangos óptimos de fracción másica de R245fa y sequedad del fluido de trabajo a la salida del evaporador son 0,30 a 0,50 y 0,40 a 0,60, respectivamente. El análisis de exergía indica que la destrucción máxima de exergía ocurre en el condensador, seguido por el expansor, el

evaporador, el tanque de flasheo, el precalentador, la bomba de alta presión y la bomba de baja presión. Mientras tanto. En conclusión, el ciclo tiene un gran potencial de mejora debido a una mayor destrucción de exergía evitable; se puede reducir alrededor del 48,6% de la destrucción total de exergía del sistema.

(Woodland et al., 2020) tuvieron como objetivo la maximización de la potencia neta de salida. Se analizan dos configuraciones de ciclo alternativas que pueden aumentar la potencia neta de salida de una fuente de calor con una temperatura y un caudal determinados y se comparan con un ORC de referencia. Estas configuraciones de ciclo son: un ORC con expansión flash bifásica (TFC) y un ORC con una mezcla de fluido de trabajo zeotrópico (ZRC). Un modelo ORC en la etapa de diseño permitió una comparación consistente de múltiples configuraciones ORC con capacidad finita de la fuente y los fluidos del disipador de calor. Los resultados de la simulación indicaron que el TFC ofrecía la mayor mejora con respecto al ORC de referencia, pero requería una expansión de dos fases altamente eficiente.

(Shahrooz et al., 2022) realizaron una comparativa de los fluidos puros, las mezclas zeótropas tienen el potencial de reducir las irreversibilidades en los ciclos de Rankine a baja temperatura mediante una mejor adaptación del perfil de temperatura del fluido de trabajo con la fuente de calor/disipador. Sin embargo, tener una temperatura de deslizamiento no garantiza un aumento del rendimiento sobre los fluidos puros, ya que muchos factores influyen en la eficiencia exergética del ciclo. En este estudio, se analizan 25 fluidos puros y 104 mezclas binarias de fluidos de trabajo naturales en ORC subcríticos con un rango de temperatura de fuente de calor de 125 a 300 °C y diferentes condiciones de condensación y los resultados se investigan dentro de dos marcos: (1) comparando las mezclas con sus constituyentes puros, (2) comparando las mezclas con el fluido puro de mejor rendimiento.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. CICLO BINARIO

Las plantas de ciclo binario se emplean para fuentes térmicas de temperatura más baja en comparación con las plantas de vapor seco y vapor instantáneo, que son eficientes en el rango de 180 °C a 350 °C. Para temperaturas más bajas, es decir, 107 °C a 180 °C, se pueden emplear plantas de energía de ciclo binario. Es posible trabajar en temperaturas incluso inferiores a esos 100 °C, pero la eficiencia disminuye. Como sugiere el nombre, tiene dos ciclos, donde el primer ciclo recoge el calor del fluido basado en recursos geotérmicos y, en un segundo ciclo, se utiliza para hervir un segundo fluido que tiene un

punto de ebullición más bajo. Este proceso se logra a través de un intercambiador de calor conocido como evaporador. El segundo fluido en el intercambiador de calor proporciona el vapor que luego se alimenta a la turbina para una acción posterior. El vapor pasa a través del condensador para volverlo líquido nuevamente, cerrando así el segundo ciclo, como mostrado en la Figura 1, (Fazal & Kamran, 2021).

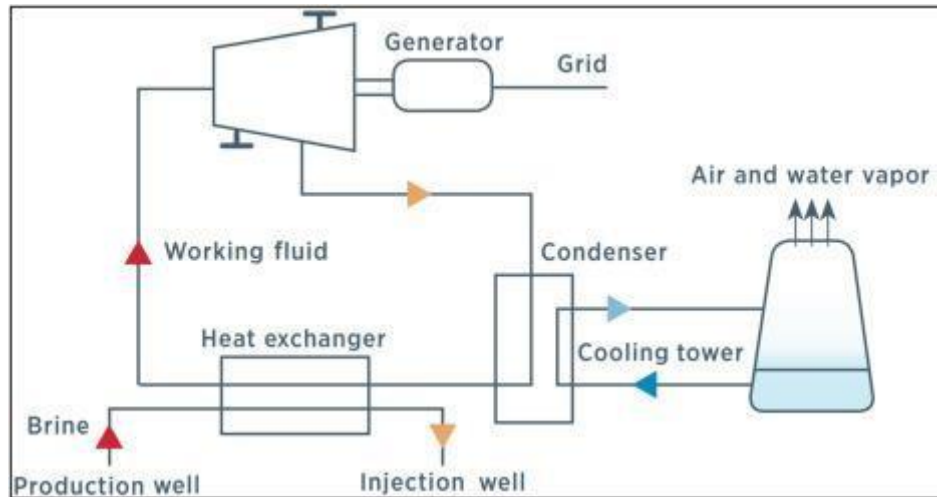


Figura 1

Ciclo binario con vapor saturado de una central de generación eléctrica.

El objetivo principal de la generación de energía de ciclo binario es recuperar el calor de fuentes de calor de baja temperatura. De este modo, se calienta y se evapora un medio con un punto de ebullición más bajo que el de la fuente de calor, cuyo vapor hace girar una turbina. Este sistema se denomina generación de energía de ciclo binario porque la energía eléctrica se genera utilizando dos ciclos térmicos de una fuente de calor y un sistema de medio, y este ciclo binario se utiliza para la generación de energía geotérmica, la recuperación de calor residual de fuentes de bajo calor, etc. La Figura 2 muestra un ejemplo de un ciclo binario utilizado en la generación de energía geotérmica. El ciclo binario es básicamente el ciclo Rankine, donde el medio de bajo punto de ebullición puede utilizar vapor de baja temperatura y agua caliente, que no se podían utilizar en el pasado. El hidrocarburo (pentano, butano, etc.) se utiliza a menudo como medio de bajo punto de ebullición (Ohji & Haraguchi, 2022).

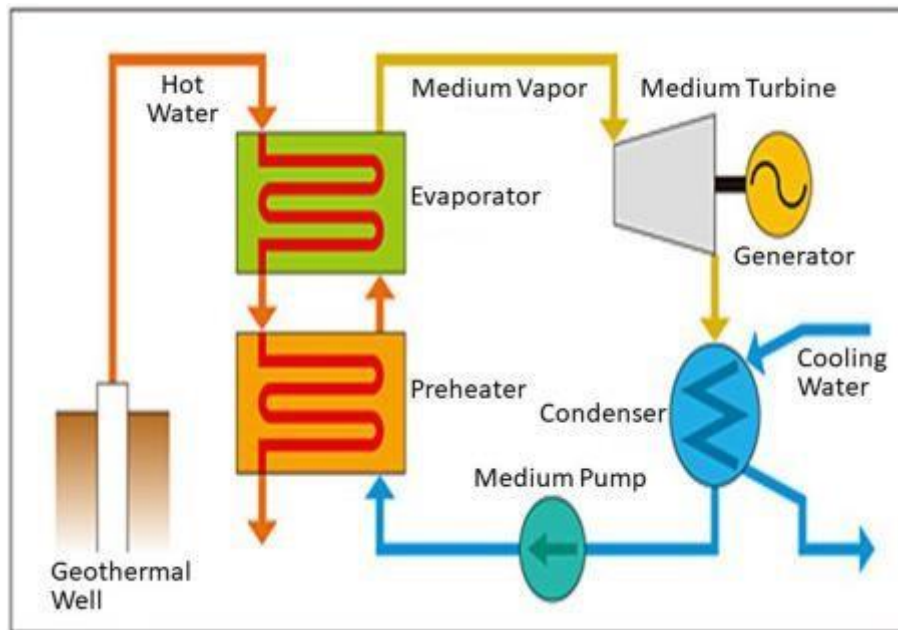


Figura 2
Ciclo binario con vapor sobrecalentado de una central de generación eléctrica.

Aunque las plantas de ciclo binario pueden extraer más energía del fluido geotérmico que las otras tecnologías que utilizan recursos energéticos renovables, solo se utilizan a temperaturas moderadas. Esto sucede porque las bombas de fondo de pozo actuales tienen una temperatura de funcionamiento y una profundidad de fraguado limitadas y evitan la precipitación excesiva de minerales en los intercambiadores de calor y los pozos (Paulillo et al., 2022).

Entonces los ciclos binarios se concibieron originalmente utilizando agua pura como fluido de trabajo. A principios del siglo XX, esta era de hecho la configuración más popular para explotar las fuentes de vapor geotérmico en Italia. Las primeras plantas explotaban recursos dominados por vapor, extrayendo calor del vapor geotérmico y operando un ciclo Rankine preferiblemente sobrecalentado (Figura 3, izquierda), mientras que el vapor saturado obtenido de un separador en un recurso dominado por líquido se acopla preferiblemente con un ciclo Rankine saturado (Figura 3, derecha) (Spadacini et al., 2017).

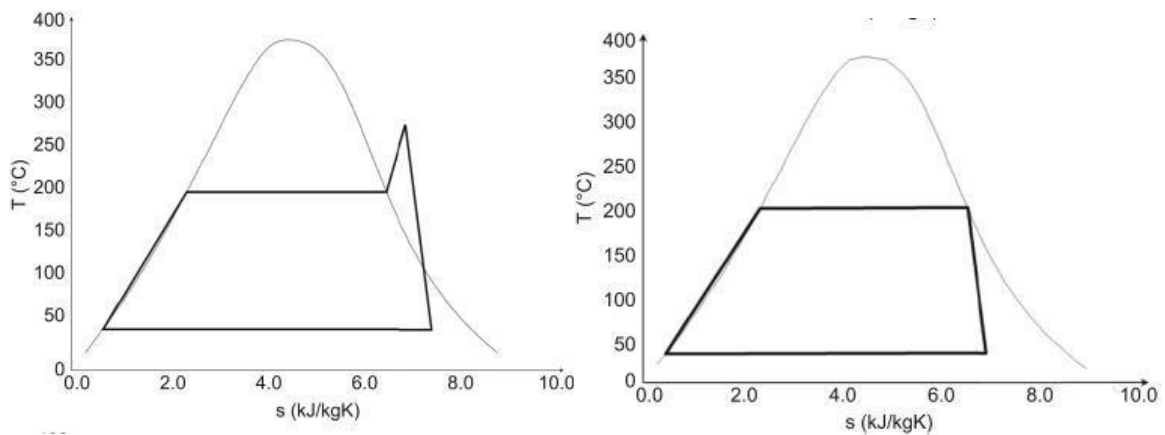


Figura 3

Ciclo binario de agua pura, típicos diagramas T-s, sobrecalentado (derecha) y saturado (izquierda)

En comparación con los ciclos directos, un sistema binario de agua tiene de hecho algunas ventajas, pero también algunas desventajas. En primer lugar, la turbina no sufre los problemas típicos de corrosión, incrustaciones y erosión de los que utilizan vapor geotérmico. En segundo lugar, el vapor puro requiere un sistema de extracción de gases no condensables mucho más simple en el condensador, ya que los únicos gases no condensables presentes en el sistema se deben a las fugas mínimas. Por el contrario, el consumo de la bomba de alimentación no es despreciable, la complejidad aumenta y la irreversibilidad térmica caracteriza el intercambio de calor (Mondejar & Chamorro, 2017).

Existen diversas configuraciones para Planta de Energía Geotérmica Binaria (B-GPP), donde el ciclo secundario permite que las plantas de energía binarias sean versátiles identificando varios tipos de configuraciones de plantas de energía binarias como:

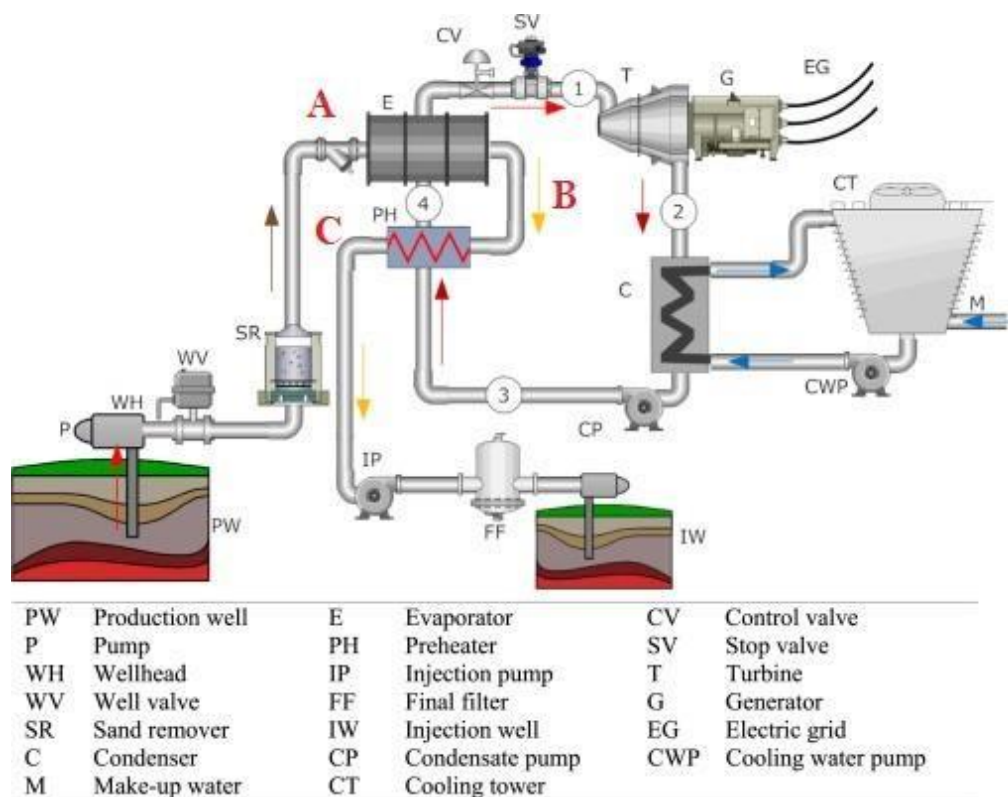
B-GPP usando ORC con intercambiador de calor interno (IHE),

B-GPP con ORC regenerativo y

B-GPP con ORC regenerativo usando IHE.

Otra variación técnica en B-GPP fue patentada por Kalina en 1982; el ciclo Kalina usa las propiedades termodinámicas de la mezcla de amoníaco y agua como fluido de trabajo permitiendo diferentes configuraciones binarias. La característica notable del ciclo Kalina es la mejora de la eficiencia en los ciclos de energía geotérmica logrando entre 30% y 40% más eficiencia térmica que los B-GPP típicos (Yari, 2010).

Los principales componentes de una B-GPP, descrito por (Moya et al., 2018), mostrado en la Figura 4, el sistema de conversión de energía de una planta de energía geotérmica binaria básica, que aplica un circuito cerrado de un ciclo Rankine termodinámico. Destacando las principales características del proceso, se utilizan bombas (P) para extraer el flujo de calor geotérmico a través de los pozos de producción (PW), y pasar por diferentes componentes del ciclo primario. El geo fluido comúnmente pasa por desarenadores (SR) para evitar socavación y erosión en cañerías y tuberías. El fluido continúa su flujo a través del evaporador (E) y precalentador (PH), y finalmente una bomba de inyección (IP) reinyecta el flujo de calor geotérmico al yacimiento por los pozos de inyección (IW).



Pozo de Producción (PW)	Evaporador (E)	Válvula de Control (CV)
Bombas (P)	Precalentador (PH)	Válvula de Parada (SV)
Pozo Caliente (WH)	Bomba de Inyección (IP)	Turbina (T)
Válvula del Pozo (WV)	Filtro Final (FF)	Generador (G)
Desarenadores (SR)	Pozos de Inyección (IW)	Red Eléctrica (EG)
Condensador (C)	Bomba de Condensado (CP)	Bomba de Enfriamiento (CWP)
Agua de Reposición (M)	Torre de Enfriamiento (CT)	

Figura 4

Planta de Energía Geotérmica Binaria (B-GPP) Convencional

Las principales características termodinámicas del fluido de trabajo secundario en el ciclo de binario son que, a bajas temperaturas (85 y 170 °C), tiene un punto de ebullición bajo y una presión de vapor alta, por ellos se requieren diagramas termodinámicos como de presión-entalpía y temperatura-entropía, mostrados en la Figura 5.

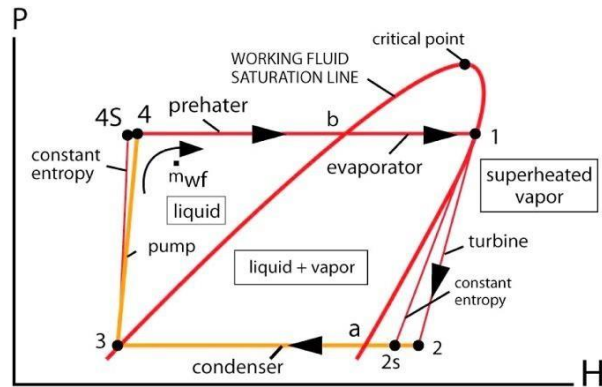


Figura 5
Ciclo Binario Convencional de vapor saturado

Las ecuaciones que gobiernan un ciclo binario basados en el trabajo de (Jiménez Aviña et al., 2013), quien presenta dos modelos. Primero: ciclo binario convencional, Figura 6, para el cual el intercambio de calor se realiza en dos etapas; un equipo de precalentamiento y un equipo de evaporación. Segundo: ciclo binario modificado, Figura 7, el agua geotérmica calienta al fluido de trabajo, a través del intercambiador de calor de placas, hasta la condición de líquido saturado. Luego, pasa a través de la placa orificio, donde disminuye su energía de presión y, como consecuencia, parte de él se evapora. La mezcla bifásica (vapor - líquido) se conduce a un separador de fases centrífugo. El vapor separado se dirige a la turbina donde se realiza el trabajo y el líquido se reintegra al ciclo.

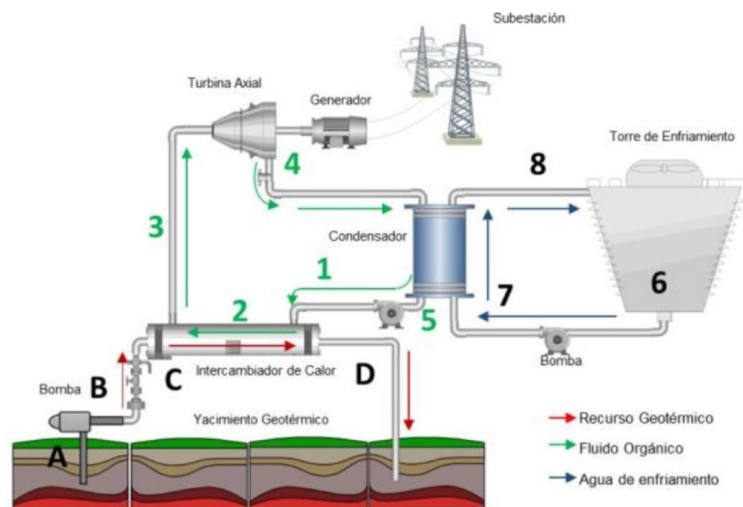


Figura 6
Ciclo Binario Convencional de vapor saturado

Ecuaciones termodinámicas del ciclo binario convencional

Potencia de la turbina de vapor:

$$W_{Turbina} = \dot{m}_{FO} \cdot (h_3 - h_4) \dots \dots \dots (1)$$

Eficiencia de turbina de vapor:

$$\eta_{Turbina} = \frac{W_{Turbina Real}}{W_{Turbina Ideal}} \dots \dots \dots (2)$$

Potencia de la bomba de agua:

$$W_{Bomba} = \dot{m}_{FO} \cdot (h_1 - h_5) \dots \dots \dots (3)$$

Eficiencia de bomba de agua:

$$\eta_{Bomba} = \frac{W_{Bomba Ideal}}{W_{Bomba Real}} \dots \dots \dots (4)$$

Intercambiador de calor:

$$\dot{m}_G \cdot h_C + \dot{m}_{FO} \cdot h_1 = \dot{m}_G \cdot h_D + \dot{m}_{FO} \cdot h_3 \dots \dots \dots (5)$$

Condensador:

$$Q_{Condensador} = \dot{m}_{FO} \cdot (h_4 - h_5) \dots \dots \dots (6)$$

Eficiencia del ciclo binario convencional:

$$\eta_{CB} = \frac{W_{Turbina} - W_{Bomba}}{Q_G} \dots \dots \dots (7)$$

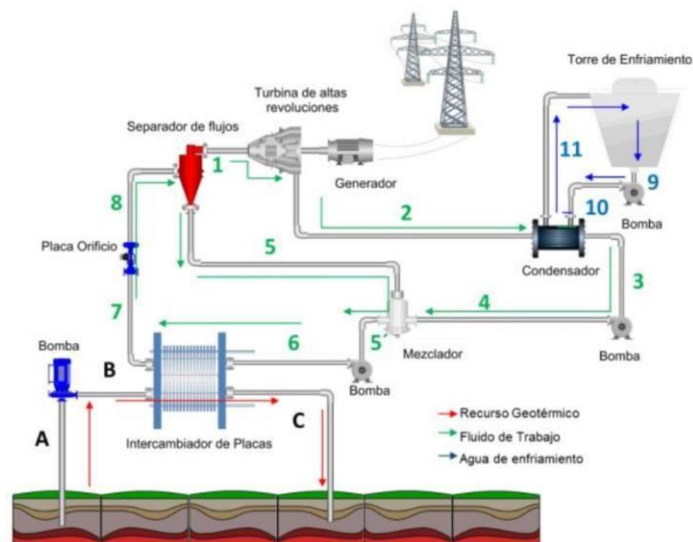


Figura 7
Ciclo Binario Modificado de vapor saturado

Potencia de la turbina de vapor:

$$W_{Turbina} = \dot{m}_{FO} \cdot (h_1 - h_2) \dots\dots\dots (8)$$

Potencia de las bombas de agua:

$$W_{Bomba\ Condensado} = \dot{m}_{FO} \cdot (h_4 - h_3) \dots\dots\dots (9)$$

$$W_{Bomba\ IC} = \dot{m}_{FO} \cdot (h_6 - h_5') \dots\dots\dots (10)$$

Intercambiador de calor de placas

$$\dot{m}_G \cdot h_B + \dot{m}_{FO} \cdot h_6 = \dot{m}_G \cdot h_C + \dot{m}_{FO} \cdot h_7 \dots\dots\dots (11)$$

Condensador

$$Q_{Condensador} = \dot{m}_{FO} \cdot (h_2 - h_3) \dots\dots\dots (12)$$

Separador de flujo

$$\dot{m}_{FO} \cdot h_8 = \dot{m}_{FOv} \cdot h_1 + \dot{m}_{FOl} \cdot h_5 \dots\dots\dots (13)$$

Mezclador

$$\dot{m}_{FOl} \cdot h_5 + \dot{m}_{FOv} \cdot h_4 = \dot{m}_{FO} \cdot h_5' \dots\dots\dots (14)$$

Eficiencia del ciclo binario modificado

$$\eta_{CB} = \frac{W_{Turbina} - W_{Bombas}}{Q_G} \dots\dots\dots (15)$$

2.2.2. FLUIDOS DE OPERACIÓN

El fluido de trabajo para un ciclo binario no solo debe tener las propiedades termofísicas necesarias para la aplicación requerida, sino que también debe ser no tóxico, no inflamable y poseer una estabilidad química adecuada en el rango de temperatura deseado, es por ello importante los criterios de selección para elegir los posibles candidatos a fluido de trabajo para el ciclo binario (Zeyghami, 2015).

La forma más común de clasificar los fluidos de trabajo binarios es por compuestos químicos en las moléculas del fluido. Los fluidos de trabajo ORC se pueden clasificar en cinco grupos principales; CFC (clorofluorocarbonos), HCFC (hidroclorofluorocarbonos), HFC (hidrofluorocarbonos), HC (hidrocarburos) y otros fluidos. Los fluidos de trabajo deben poseer alta densidad, bajo calor específico del líquido, alto calor latente y baja viscosidad, produzcan una alta producción neta de

trabajo. Además, el fluido de trabajo debería, aunque estas características no siempre se satisfacen en la práctica y son críticamente necesarias (Basaran & Ozgener, 2013).

Para (Hajianto & Haramaini, 2021) el primer criterio de selección del tipo de fluido de trabajo se determina por la pendiente de la curva de saturación, y el segundo es el impacto ambiental del fluido de trabajo, considerando el potencial de agotamiento de la capa de ozono y el potencial de calentamiento global. La elección del fluido de trabajo determinará la eficiencia del sistema, las condiciones de operación, el impacto ambiental y la viabilidad económica.

Según (Cideos N., 2012) propone cinco fluidos para los ciclos binarios, según los criterios indicados anteriormente, que ofrecen buenas características de operación, mostrados en la Tabla 1, donde se indican algunas propiedades relacionadas con la salud y el medio ambiente. Al seleccionar el fluido: la toxicidad y la inflamabilidad son dos factores muy importantes para la seguridad humana; el Ozone Depletion Potential (ODP) traducido como Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono y el Global Warming Potential (GWP) traducido como Potencial Calentamiento Global, reflejan cuestiones ambientales. Tanto para el ODP como para el GWP, cuanto más bajos sean los valores de estos dos números, más seguros serán para el medio ambiente.

Tabla 1

Propiedades ambientales y de salud de los fluidos de trabajo estudiados en ciclos binarios

Fluid	Formula	Toxicity	Flammability	ODP*	GWP**
R134a	CH ₂ FCF ₃	Low	Non-flam	0	1430
R245fa	C ₃ H ₃ F ₅	Low	Non-flam	0	1030
n-pentane	C ₅ H ₁₂	Low	Very high	0	3
isopentane	i-C ₅ H ₁₂	Low	Very high	0	3
isobutane	i- C ₄ H ₁₀	Low	Very high	0	3

Dependiendo de la pendiente de la línea de vapor saturado en el diagrama T-s como se muestra en la Figura 7, los fluidos pueden clasificarse como secos (Dry Fluid), isoentrópicos (Isentropic Fluid) y húmedos (Wet Fluid), con pendientes positivas, infinitas y negativas respectivamente. Los fluidos de trabajo secos e isoentrópicos son más favorables para los sistemas ORC, porque el fluido de trabajo se sobrecalienta después de la expansión isentrópica en la turbina. Por lo tanto, se eliminan los problemas que surgen a partir de la formación de gotitas de líquido en las etapas finales de la turbina (Zeyghami & Nouraliee, 2015).

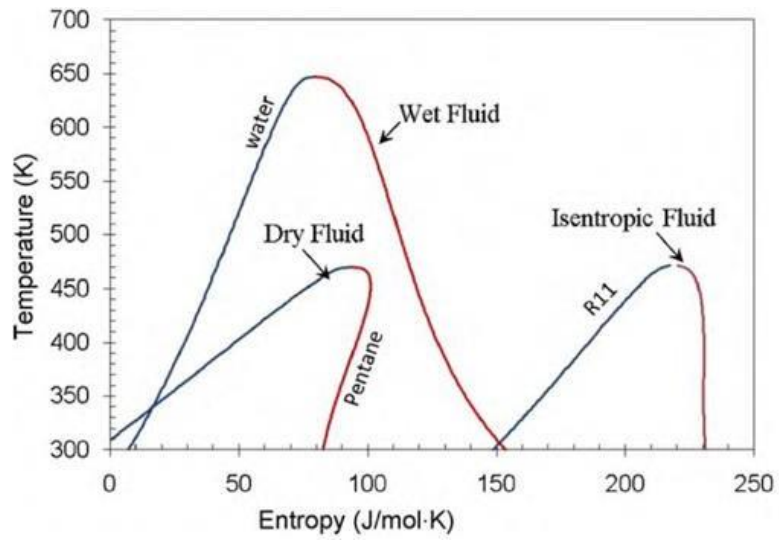


Figura 8

Tipos de fluidos de trabajo: seco, isentrópico y húmedo, aplicables a Ciclo Binario

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación posee un enfoque cuantitativo, el autor (Babativa, 2017) manifiesta que es la que surge de la búsqueda del conocimiento científico, caracterizándose por conocer la realidad de los diferentes fenómenos sociales, que pueden conocerse a través de la mente humana, los datos son productos de las mediciones realizadas a las variables observadas del objeto de estudio y su propósito es explicar y predecir. Es por ello que se ajusta a nuestra investigación debido a que basado en la observación de campo permitirá realizar cálculos respectivos a fin de explicar el uso del recurso y predecir el potencial aprovechamiento.

3.2. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El método de la investigación fue experimental, se produce la observación objetiva de los fenómenos que ocurren en situaciones muy controladas (Vizcaíno Zúñiga et al., 2023), la observación estuvo direccionada a los parámetros de temperatura de los puntos de energía geotérmica, así como las condiciones atmosféricas de las zonas analizadas. Por lo tanto, esta investigación ha considerado un solo grupo experimental (zonas geotérmicas en la región 2 Ancash), medición de las temperaturas en diversos horarios del día y puntos estratégicos, para poder estimar el potencial de aprovechamiento.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población se define como el conjunto de todos los individuos u objetos que presentan las mismas características que dan a conocer algo de un estudio (Mucha-Hospinal et al., 2021), en la presente investigación se consideró como población las 6 regiones geotermales que comprende: Región 1: Cajamarca - La Libertad; Región 2: Callejón de Huaylas; Región 3: Churín; Región 4: Central; Región 5: Eje volcánico sur y Región 6: Cusco – Puno.

La muestra se define como una parte de la población con las mismas características que permite estudiar algo en espacio y tiempo establecido (Mucha-Hospinal et al., 2021), se seleccionó una muestra de la zona de interés de los investigadores correspondiente a la Región 2: Callejón de Huaylas, dentro de ello se definen 3 lotes geotérmicos: Huaraz, Caraz y Corongo.

El muestreo es no probabilístico por conveniencia del investigador.

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variable independiente: Fluido de operación. La selección del fluido de operación o trabajo para su uso en ciclos binario es un punto crucial, ya que dependiendo de la aplicación, la fuente y el nivel de calor a utilizar, el fluido de operación debe tener propiedades termodinámicas óptimas a las temperaturas y presiones más bajas y también satisfacer varios criterios como ser económico, no tóxico, no inflamable, respetuoso con el medio ambiente, permitir un alto aprovechamiento de la energía disponible de la fuente de calor geotérmica, entre otros, estas condiciones limita la lista a solo unos pocos fluidos al considerar todas las restricciones (Vélez, 2014). Es decir, la elección del fluido de trabajo óptimo es un parámetro de diseño importante en los ORC. Las condiciones de trabajo, las temperaturas de la fuente de calor y del disipador de calor, así como el rendimiento del ciclo, afectan a los fluidos de trabajo óptimos. Las investigaciones centran su análisis en las diferentes propiedades termofísicas de los fluidos y características de la fuente/disipador de calor, como la temperatura crítica, la presión crítica, el punto de ebullición normal, la capacidad calorífica específica, el calor latente y otros factores (Noriega Sanchez et al., 2018).

Variable dependiente: Ciclo Binario. Estos ciclos aprovechan bajas temperaturas, de la fuente geotérmica inferior a 180 °C, la tecnología más adecuada es el ciclo binario, en el que el fluido de trabajo, distinto del fluido geotérmico, se somete a un ciclo cerrado. El fluido de trabajo recibe calor del agua geotérmica en un intercambiador de calor y se evapora, luego se expande en la turbina, se condensa en el condensador y es devuelto al intercambiador de calor por una bomba de alimentación. La mayoría de las plantas binarias se basan en los ciclos de Rankine, debido a que los compuestos orgánicos son de bajo punto de ebullición, como el propano, el isobuteno, el pentano, el isopentano, etc., que se utilizan como fluido de trabajo en los ciclos termodinámico conocidos como ORC (Ciclo Orgánico de Rankine) (Guzović et al., 2014) .

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnicas:

Análisis documental: mediante la información de fuentes bibliográficas como artículos de investigación, libros, datos de campo, información virtual de la zona.

Observación: Se empleó para la recolección de los datos o parámetros térmicos, como temperatura, humedad relativa entre otros.

Instrumentos:

Registro de información: consiste en un instrumento de recolección de información a registrar de acuerdo con los parámetros necesarios.

Termómetro para Suelo Compost: medidor probador de temperatura, utilizado para medir la temperatura interna del terreno, del agua, etc. Rango de temperatura de operación 0°C – 120°C.

Termómetro detector de temperatura Digital LCD: medidor de temperatura tipo K, modelo TM-902C. Rango de temperatura de operación -20°C – 50°C.

Sensor de sonda termopar, medidor de temperatura tipo K, modelo TP02 TP-02 TP 02 K, controlador de temperatura con Cable TP-02 y sonda termopar de 8.9 cm de longitud.

Sonda Termopar Tipo K: medidor de temperatura con cable extensor para medir temperatura de líquidos, con alta sensibilidad. Rango de temperatura de operación -50°C – 1200°C.

Pirómetro Infrarrojo Láser: Modelo GM320 – BENETECH, para medición de la temperatura del agua termales, piscina temperada, calefacción, aire acondicionado, etc. Rango de temperatura de operación -50°C – 400°C.

Termohigrómetro LCD: Para medición de la humedad relativa del lugar. Rango de medición 10%RH – 99%RH.

GPS (Sistema de Posicionamiento Global): Para ubicación de latitud y longitud del lugar.

3.6. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el presente trabajo de investigación y el análisis de datos se utilizó medidas descriptivas para relacionar las variables de estudio; y las medidas de inferencia para probar la hipótesis planteada en la investigación, las cuales se explican a continuación:

- Análisis estadístico descriptivo.

Se realizó un balance de energía, para conocer los flujos de energía calorífica:

- Flujo de calor útil.
- Potencia de salida de la turbina.
- Comparación de rendimientos de fluidos de trabajo.
- El uso del Microsoft Excel para el cálculo usando los datos obtenidos en capo y estandarización de variables.
- El programa EES (Engineering Equation Solver), que se utiliza para realizar cálculos termodinámicos de manera sistemática y con repeticiones de cálculo.

El informe fue redactado teniendo en cuenta lo detallado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, la cual se realizó a través del procesador de textos Microsoft Word.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del objetivo específico 1: Identificación de las zonas de potencial energético geotérmico en la Región 2 – Ancash

El Perú posee un vasto potencial geotérmico con múltiples manifestaciones en la superficie como aguas termales, géiseres, fumarolas, vapor, etc., a lo largo de todo el país. La investigación se basó en última información registrada de (Vargas & Cruz, 2010) quien presenta el Mapa Geotérmico del Perú con el fin de definir geográficamente las zonas del país donde se encuentran los recursos geotérmicos. Actualmente se han identificado seis regiones geotérmicas importantes: Cajamarca – La Libertad; Callejón de Huaylas; Churín; Central; Eje Volcánico Sur y Cuzco – Puno.

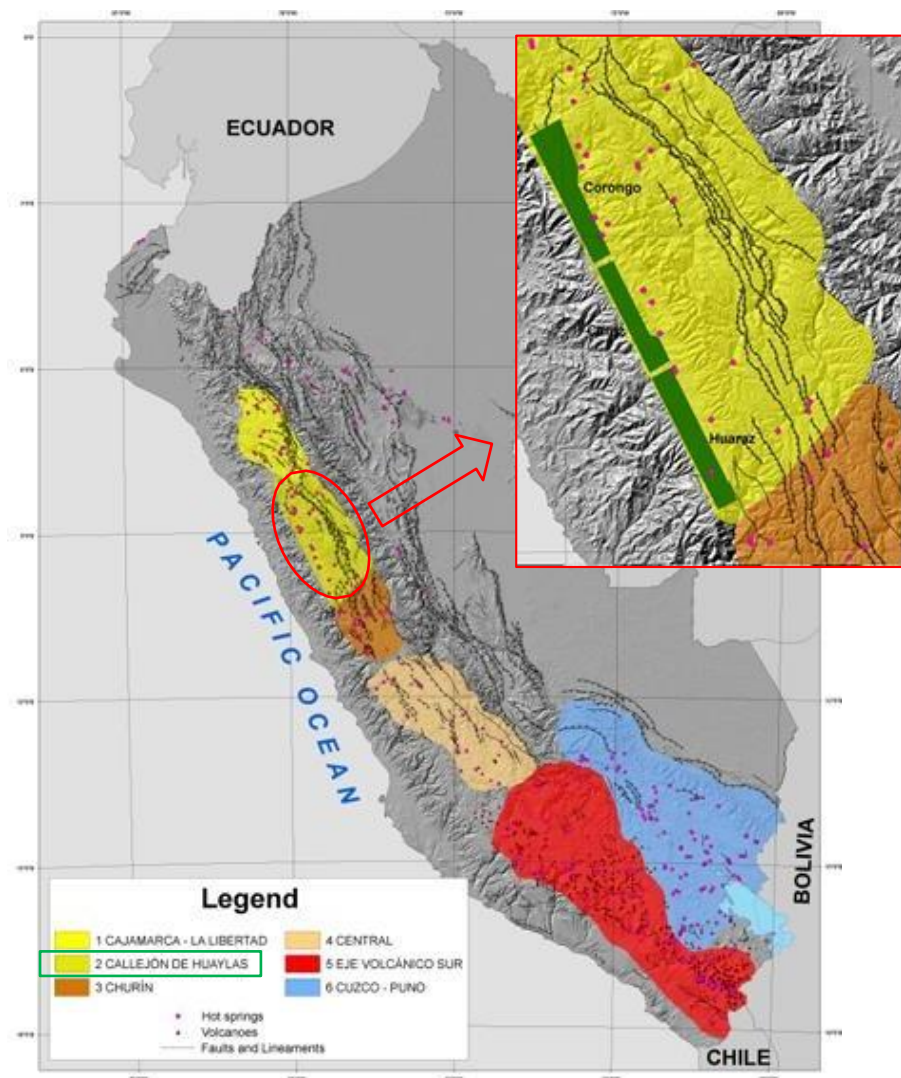


Figura 9

Mapa Geotérmico del Perú (Actualizado)

En la Figura 8 se presenta el área de investigación denominado Región 2: Callejón de Huaylas, esta región tiene una superficie aproximada de 27.057 km², está ubicada en la sierra sur de las zonas de La Libertad, Ancash, y Huánuco. Aquí se han encontrado más de 40 manifestaciones geotérmicas y sus conjuntos se definen de la siguiente manera: Huaraz, Caraz, Corongo. Los puntos geotérmicos evaluados fueron las aguas termales de Monterrey ubicado en la provincia de Huaraz y de Chancos ubicado en la provincia de Carhuaz, mostrados en la imagen de la Figura 9.



Figura 10

Aguas termales de Monterrey (Huaraz) y Chancos (Carhuaz)

Se tomaron las lecturas de las temperaturas superficiales, interior de los pozos, en las dos zonas de evaluación, en la imagen de la Figura 10 se presenta el registro el trabajo de campo realizado durante, 4 días de la semana en los horarios de 8:00 hasta 16:00 horas, en el mes de marzo 2024, registrados en la Tabla 3.

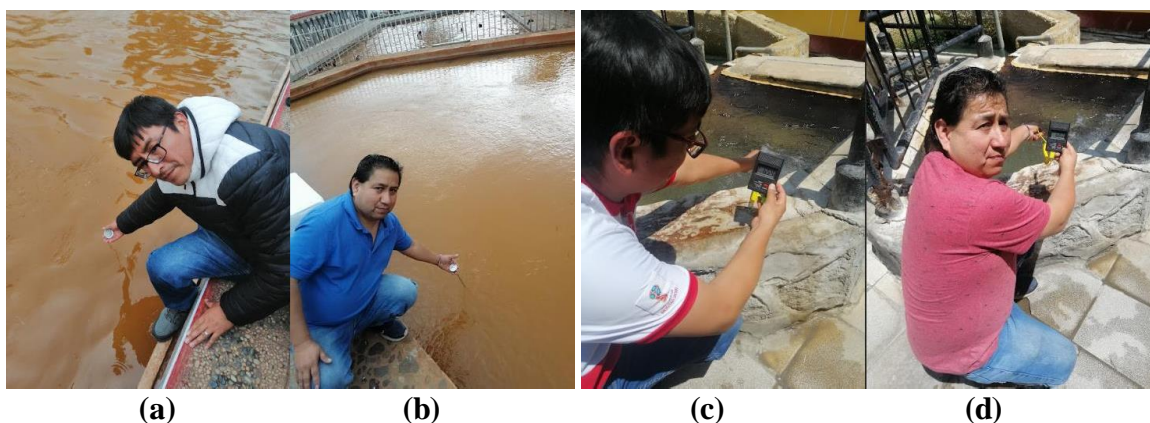


Figura 11

Toma de temperaturas en Monterrey–Huaraz (a, b) y Chancos–Carhuaz (c, d)

Los datos evaluados en campo denominados temperaturas superficiales (T Sup) no son del máximo potencial aprovechable, pues las temperaturas aprovechables se consideran

las geotérmicas (T Geo), según (Beltran A., 1999) estas dependen de composición del suelo, en la Tabla 2 se presentan los valores obtenidos en una evaluación en México. A partir de estos datos se clasificaron aquellas que se encuentran por encima y debajo de 100° y se ajustaron las curvas de aproximación, mostrados en la gráfica de la Figura 11, obteniéndose la temperatura geotérmica pronosticada y el error de aproximación.

Tabla 2

Nivel de aprovechamiento de la Temperatura Superficial (T_{Sup}) y Temperatura Geotérmica (T_{Geo}) mediante aproximación.

T Sup. (Medido)	T Geo. (Calculado)		T Geo. (Pronosticado)	Error (%)
108	163.46	Mayor a 100°C	155.89	4.9
95	139.88		148.32	5.7
70	129.55		133.75	3.1
64	123.78		130.25	5.0
60	131.37		127.92	2.7
60	136.03		127.92	6.3
57	93.99	Menor a 100°C	93.94	0.1
55	93.99		93.33	0.7
55	92.6		93.33	0.8
50	91.83		91.81	0.0

Fuente: Tesis de grado de maestro (Beltran A., 1999)

Las ecuacion para pronosticar las temperaturas geotermicas a partir de las temperaturas superficiales medidas en campo:

$$T_{Geo} = 0.5826 * T_{Sup} + 92.968 \quad (Temp. > 100 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$T_{Geo} = 0.3042 * T_{Sup} + 76.599 \quad (Temp. < 100 \text{ } ^\circ\text{C}) \dots\dots\dots(16)$$

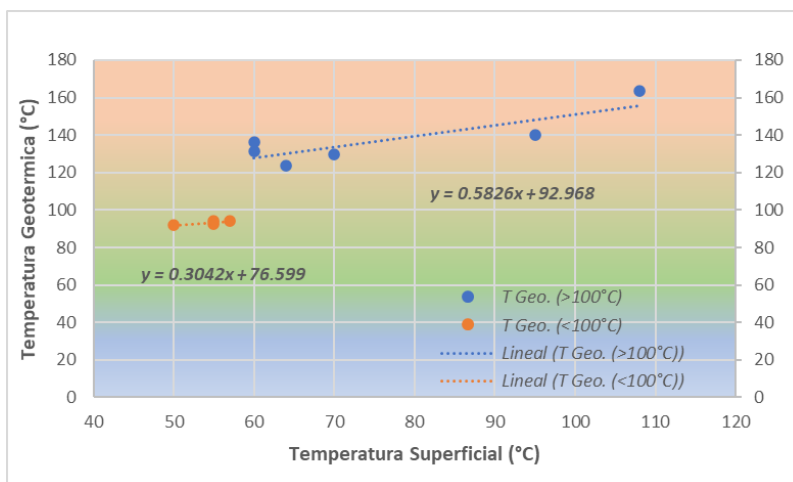


Figura 12
Aproximación lineal de datos de campo (Beltran A., 1999)

Tabla 3*Valores de Temperatura Superficial (TSup) y Temperatura Geotérmica (TGeo)*

Medida	<i>Monterrey–Huaraz</i>		<i>Chancos–Carhuaz</i>	
	TSup. (°C)	TGeo. (°C)	TSup. (°C)	TGeo. (°C)
1	45.5	90.4	56.7	93.8
2	45.7	90.5	62.9	95.7
3	46.8	90.8	68.6	97.5
4	45.2	90.3	66.5	96.8
5	40.6	88.9	64.4	96.2
6	40.1	88.8	57.8	94.2
7	40.5	88.9	67.3	97.1
8	44.3	90.1	68.7	97.5
9	42.9	89.6	69.1	97.6
10	46.8	90.8	57.2	94.0
11	46.2	90.7	65.7	96.6
12	47.1	90.9	68.1	97.3
13	46.9	90.9	58.9	94.5
14	48.1	91.2	57.6	94.1
15	47.2	91.0	59.1	94.6
16	46.9	90.9	68.7	97.5
17	45.8	90.5	67.9	97.3
18	42.9	89.6	65.9	96.6
19	43.7	89.9	67.3	97.1
20	47.2	91.0	69.5	97.7
	Promedio (°C)	90.3	Promedio (°C)	96.2
	Promedio (K)	363.4	Promedio (K)	369.3

En la Tabla 3 se presentan los valores de las temperaturas superficial medidas en campo y su correspondiente temperatura geotérmica determinada con la ecuación 16, para los cuales se obtiene un valor de 90.3 °C para Monterrey–Huaraz y 96.2 para Chancos–Carhuaz, se puede considerar que en ambos puntos de toma de datos los valores tienen a una diferencia de 6°C aproximadamente.

4.2. Resultados del objetivo específico 2: Modelamiento de la Planta de Energía Geotérmica Binaria con temperaturas de campo e influencia de la presión de operación.

Se realizó el modelamiento del ciclo binario basado en la configuración mostrada en la Figura 12 (izquierda), para el cual se utilizó fluido geotérmico para por dos etapas un precalentador (PH) y luego un evaporador (E), el análisis termodinámico realizado se

muestra en la Figura 7 (derecha) donde la línea ABC corresponde al calor suministrado por el fluido geotermico y las línea 451 corresponde al paso del fluido de operación por los equipos PH y E, el punto de acercamiento B5 se denomina pinch point, T_{pp} .

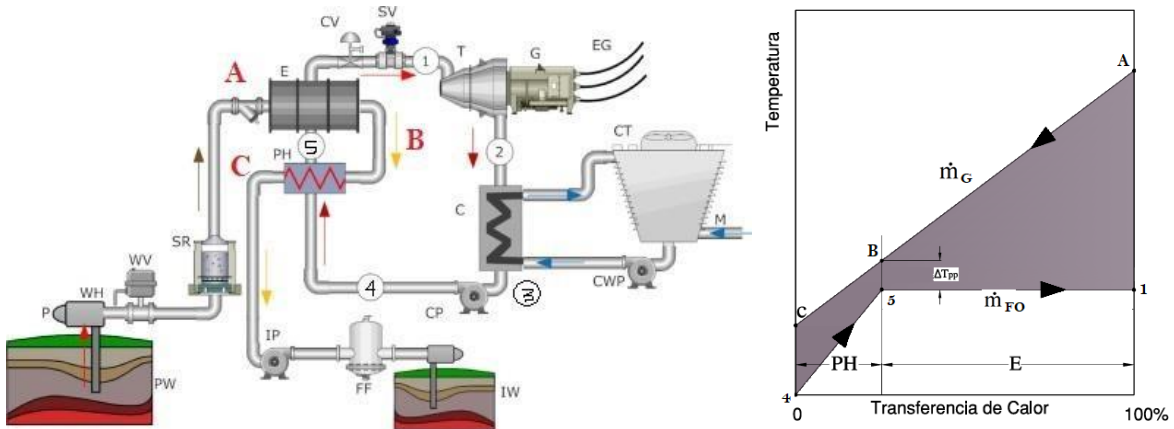


Figura 13
Ciclo Binario modelado (Izquierda) acercamiento térmico (derecha)

Los fluidos seleccionados para la evaluación fueron el isopentano (i-C₅H₁₂), isobutano (i-C₄H₁₀) y R245fa (C₃H₃F₅) utilizados en la actualidad en centrales geotermicas basados en ciclo binario, los dos primeros generan un impacto casi nulo en el medio ambiente mientras que el tercero si tiene un alto impacto. El modelamiento se baso en la influencia de la presión del evaporador (presión de alta) en el ciclo binario a partir de la eficiencia termica y la eficiencia de utilización. Los datos iniciales requeridos para el modelamiento se muestran en la Tabla 4.

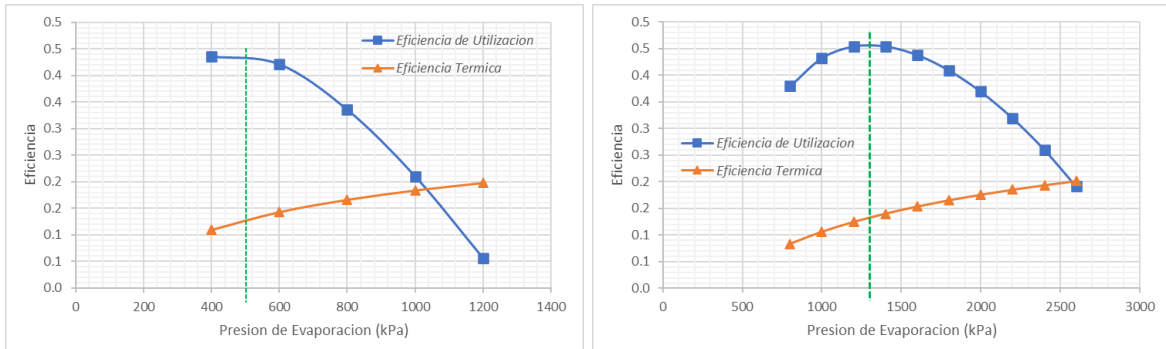
Tabla 4

Valores de iniciales para el modelamiento del ciclo binario

Temperatura del fluido geotermico (T_{Geo})	369.3 K
Temperatura de condensacion (T_c)	303 K
Temperatura del ambiente (T_a)	293 K
Presion del ambiente (P_a)	100 kPa
Eficiencia isoentropica de la turbina	0.85
Eficiencia isoentropica de la bomba	0.80
Diferencia de Pinch Point	5 K
Flujo masico de operacion	100 kg/s
Fluidos de Trabajo	Isopentano, Isobutano y R245fa

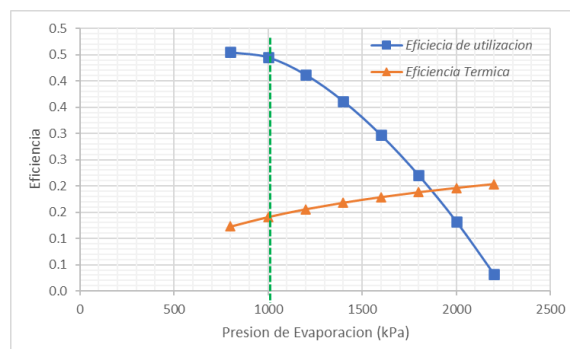
Los resultados obtenidos se muestran en las graficas de la Figura 13, donde se observa que para el punto de maxima utilizacion del trabajo neto del ciclo binario, corresponde

a presiones diferentes, para el isopentano a una presión de 450 kPa, el isobutano a una presión de 1300 kPa y el R245fa a una presión de 1000 kPa.



(a) Isopentano

(b) Isobutano



(c) R245fa

Figura 14

Modelamiento del Ciclo Binario a diversas presiones del evaporador para los fluidos de operación: (a) isopentano, (b) isobutano y (c) R245fa

En las Tablas 5, 6 y 7 se presentan los resultados de las propiedades termodinámicas del ciclo binario aplicado a cada fluido de trabajo y presión del precalentador – evaporador.

Tabla 5

Propiedades termodinámicas del ciclo binario. Fluido de operación Isopentano.

Estado	Fluido	Presión (kPa) = 450				
		Presión (kPa)	Temperatura (K)	Entalpia (kJ/kJ)	Entropía (kJ/kg-K)	Flujo masico (kg/s)
1	Isopentano	450.0	352.5	78.4	-0.4453	70.2
2	Isoopentano	108.5	303.0	35.3	-0.4215	70.2
3	Isopentano	108.5	303.0	-339.0	-1.6534	70.2
4	Isopentano	450.0	352.5	-338.3	-1.6529	70.2
5	Isopentano	450.0	352.5	-218.3	-1.2867	70.2
A	Geotérmico	450.0	406.3	559.9	1.6679	100.0
B	Geotérmico	296.5	357.5	353.3	1.1270	100.0
C	Geotérmico	24.6	337.8	270.6	0.8891	100.0

Tabla 6*Propiedades termodinámicas del ciclo binario. Fluido de operación Isobutano.*

Estado	Fluido	Presión (kPa) = 1300				
		Presión (kPa)	Temperatura (K)	Entalpia (kJ/kJ)	Entropía (kJ/kg-K)	Flujo masico (kg/s)
1	Isobutano	1300.0	356.0	500.4	1.4901	70
2	Isobutano	349.9	303.0	454.3	1.5164	70
3	Isobutano	349.9	303.0	83.8	0.2934	70
4	Isobutano	1300.0	356.0	85.8	0.2923	70
5	Isobutano	1300.0	356.0	224.1	0.7142	70
A	Geotérmico	1300.0	406.3	559.9	1.6679	100
B	Geotérmico	296.5	361.0	367.9	1.1676	100
C	Geotérmico	25.2	338.3	272.8	0.8955	100

Tabla 7*Propiedades termodinámicas del ciclo binario. Fluido de operación R245fa.*

Estado	Fluido	Presión (kPa) = 1000				
		Presión (kPa)	Temperatura (K)	Entalpia (kJ/kJ)	Entropía (kJ/kg-K)	Flujo masico (kg/s)
1	R245fa	1000.0	362.8	467.9	1.7850	114.1
2	R245fa	176.2	303.0	440.8	1.8000	114.1
3	R245fa	176.2	303.0	238.9	1.1350	114.1
4	R245fa	1000.0	362.8	239.7	1.1350	114.1
5	R245fa	1000.0	362.8	323.7	1.3880	114.1
A	Geotérmico	1000.0	406.3	559.9	1.6680	100.0
B	Geotérmico	296.5	367.8	396.4	1.2460	100.0
C	Geotérmico	34.2	345.3	302.1	0.9812	100.0

En las Tablas 5, 6 y 7 anteriores se puede observar que la cantidad de fluido de operación correspondiente a cada modelamiento, el ciclo binario con R245fa alcanza un valor de 114.1 kg/s mientras que el ciclo binario operando con isopentano e isobutano se encuentran en 70.2 kg/s y 70 kg/s, respectivamente, evidenciándose que el ciclo con R245fa requerida equipos de mayor tamaño porque deben mover cantidades de fluido aproximadamente 45 kg/s más del ciclo con isopentano e isobutano, considerando que este fluido requiere de mayor control y seguridad por su nocividad en el impacto ambiental. Además, se observa que a pesar de tener presiones de evaporador diferentes las temperaturas de saturación correspondientes a los cambios de fase, son aproximadamente iguales 352.5, 356.0 y 362.8 K para el isopentano, isobutano y R245fa, respectivamente, poniendo símiles comparativos.

4.3. Resultados del objetivo específico 3: modelamiento de la planta de energía geotérmica binaria con temperaturas de campo e influencia del fluido de operación.

En los análisis de ciclo binario es importante es importante mostrar el diagrama termodinámico debido a que en ello se observa el comportamiento de las transformaciones, en la Figura 14 se observa que para los tres fluidos poseen una pendiente negativa de la línea de vapor saturado, eso hace posible el mayor aprovechamiento del fluido binario. Por otro lado para el (a) Isopentano y (b) isopropano se pueden aprovechar niveles de sobrecalentamiento a temperaturas más elevadas, en el caso de (a) mayores a 500 K y en el caso de (b) menos de 500 K, sin embargo para el fluido (c) R245fa las temperaturas de sobrecalentamiento están limitadas a menos de 400 K, con ellos se podría modelas los ciclos a diversos regímenes de temperatura considerando que le fuente de calor geotérmica tenga el potencial suficiente para generar tal niveles de sobrecalentamiento.

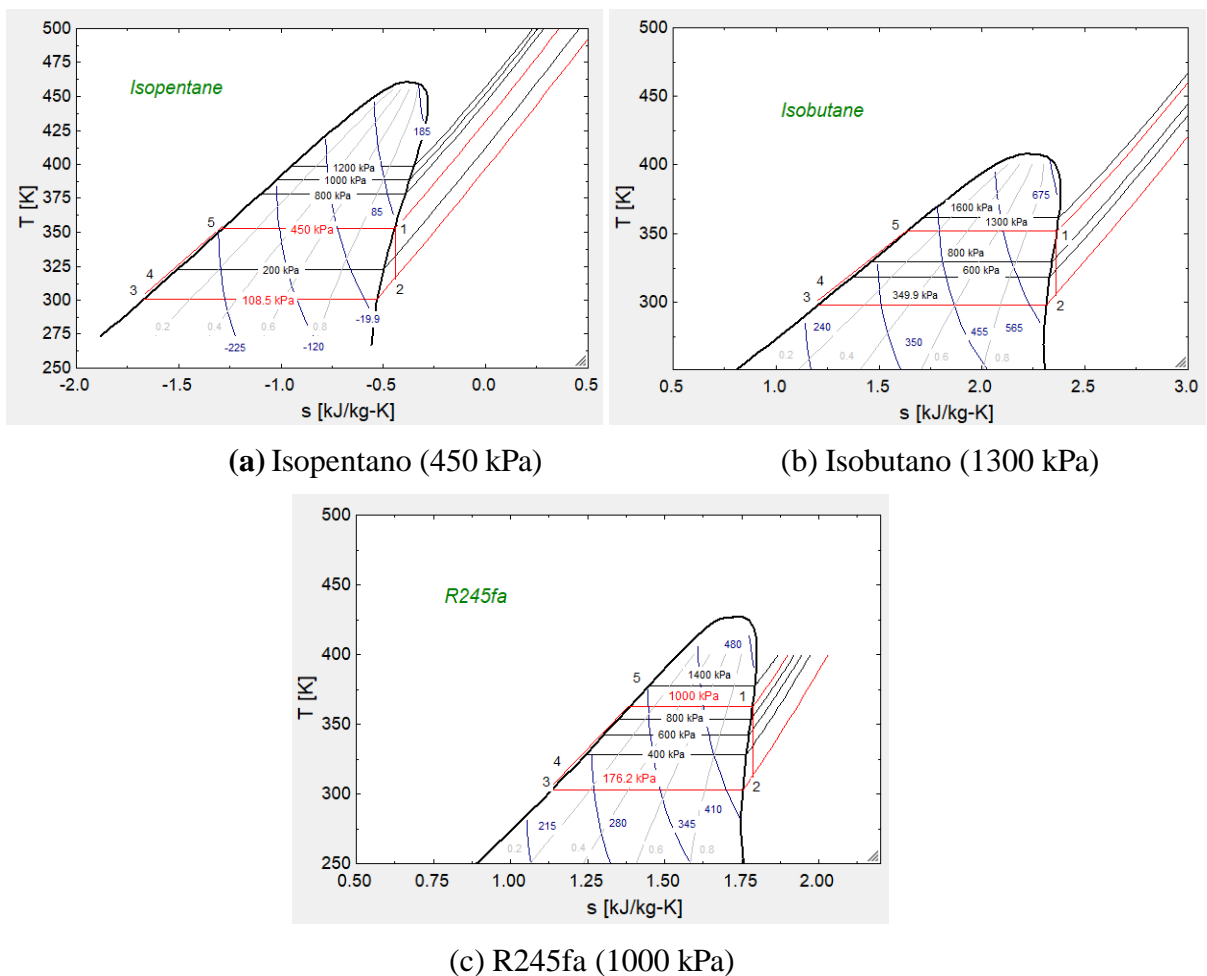


Figura 15

Diagrama termodinámico Ts, para el Ciclo Binario para los fluidos de operación: (a) isopentano, (b) isobutano y (c) R245fa

En la Tabla 8 se presentan los resultados de los parámetros operativos calculados en el ciclo binario, podemos observar que el ciclo binario con Isobutano presenta una mayor potencia neta respecto a los otros fluidos como Isopentano (8.8%) y R245fa (5.6%) a pesar que para el ciclo con Isobutano se requiere mayor consumo de potencia de bombeo 142.1 kW, sin embargo, este ciclo se ve compensado con una producción de trabajo en la turbina mayor que el ciclo con isopentano e R245fa.

Además, hay que resaltar la temperatura de reinyección al pozo geotérmico, es decir la temperatura con la cual el fluido geotérmico sale del ciclo binario en el precalentador, según los cálculos el ciclo binario con Isopentano e Isobutano presentan un mejor aprovechamiento del recurso debido a que ingresa con 369.3 K y sale con 337.8 K y 338.3 K, respectivamente que corresponde a un aprovechamiento de 31.5 °C y 31°C y finalmente el ciclo con R245fa con 24°C de aprovechamiento.

Tabla 8

Resultados del modelamiento de la Planta de Energía Geotérmica Binaria en diversos fluidos de operación.

Fluido de Operación	Isopentano (i-C5H12)	Isobutano (i-CH10)	R245fa (C3H3F5)
Presión de Operación (kPa)	450	1300	1000
Potencia Neta (kW)	3076	3368	3180
Potencia de Turbina (kW)	3027	3226	3091
Potencia de Bomba (kW)	49.2	142.1	88.7
Flujo masico de Operación (kg/s)	70.2	70.017	114.1
Flujo de Calor Evaporador (kJ/s)	29265.5	29027.0	26047.0
Flujo de Calor Condensador (kJ/s)	25753.5	25374.0	22499.0
Temperatura de Reinyección (K)	337.8	338.3	345.3
Eficiencia de Utilización (%)	44.1	45.7	44.5
Eficiencia Térmica (%)	11.9	13.3	14.1

4.4. Resultados del objetivo específico 4: Análisis del performance de la Planta de Energía Geotérmica Binaria en diversos escenarios de operación.

Sobre el performance del ciclo binario aplicado a la utilización de fuentes geotérmicas, ubicado en la zona denominado Región 2: Callejón de Huaylas, definidos en Huaraz, Caraz, Corongo, los puntos geotérmicos modelados fueron las aguas termales de Monterrey ubicado en la provincia de Huaraz y de Chancos ubicado en la provincia de Carhuaz, donde se uniformizo la temperatura geotérmica a 639.3 K, obteniéndose presiones de 450 kPa, 1300 kPa y 1000 kPa para los ciclos binarios con fluidos de

operación Isopentano, Isobutano y R245fa, respectivamente. En la Tabla 9 se presentan los valores de la eficiencia de utilización y eficiencia térmica para cada caso.

Tabla 9

Resultados del modelamiento de la Planta de Energía Geotérmica Binaria en diversos fluidos de operación.

Fluido de Operación	Isopentano (i-C ₅ H ₁₂)	Isobutano (i-CH ₁₀)	R245fa (C ₃ H ₃ F ₅)
Presión de Operación (kPa)	450	1300	1000
Eficiencia de Utilización (%)	44.1	45.7	44.5
Eficiencia Térmica (%)	11.9	13.3	14.1

En la gráfica de la Figura 15 se observa que el fluido Isopentano tiene un mejor comportamiento con una eficiencia de utilización de 45.7% y una eficiencia térmica de 13.3%, eso implica que se dispone de mayor cantidad de trabajo neto con menores pérdidas irreversibles y un mejor aprovechamiento del fluido geotérmico. Además, debemos resaltar que los ciclos binarios con fluidos Isopentano e R245fa, presentan una disponibilidad con una variación de menos de 1% lo cual se puede considerar uniforme en ambos casos, sin embargo, la eficiencia térmica si hay un mejor aprovechamiento del fluido geotérmico para el caso del ciclo binario con fluido R245fa que el fluido Isopentano en 18.5%.

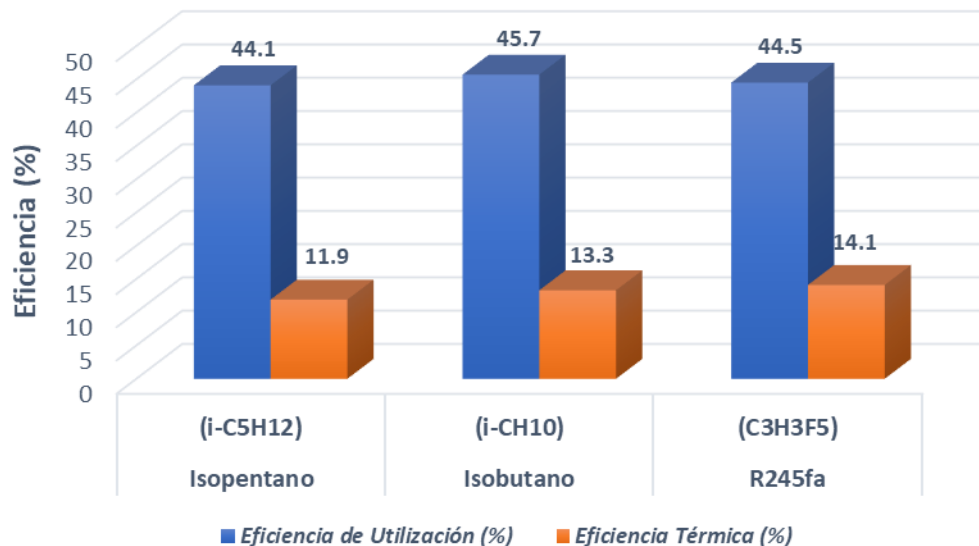


Figura 16

Performance de la Planta de Energía Geotérmica Binaria en diversos fluidos de operación. Eficiencia de utilización y Eficiencia térmica.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Sobre el primer objetivo específico, se identificaron las zonas de potencial energético geotérmico en la Región 2 – Ancash, que comprende Huaraz, Caraz, Corongo, se evaluó las aguas termales de Monterrey ubicado en la provincia de Huaraz y de Chancos ubicado en la provincia de Carhuaz, obteniéndose temperaturas superficiales de 318.2 K y 337.5 K, así como temperaturas geotérmicas de 363.4 K y 369.3 K, respectivamente para cada zona de evaluación.

Sobre el segundo objetivo específico, se modeló la Planta de Energía Geotérmica Binaria con temperatura geotérmica de 369.3 K y la influencia de la presión de operación, obteniendo mejores resultados a las siguientes presiones: 450 kPa para CB con isopentano, 1300 kPa para CB con Isobutano y 1000 kPa para e CB con R245fa. El modelo tuvo como datos iniciales $\eta_t = 0.85$, $\eta_b = 0.80$, Pinch Point de 5 K y $\dot{m}_G = 100$ kg/s. Obteniendo la cantidad de fluido de operación alcanza valores para el isopentano, isobutano y R245fa se encuentran en 114.1 kg/s, 70.2 kg/s y 70 kg/s, respectivamente.

Sobre el tercer objetivo específico, se modeló la Planta de Energía Geotérmica Binaria con temperatura geotérmica de 369.3 K y su influencia del fluido de operación en su condición de mejor aprovechamiento, obteniéndose que el ciclo binario con Isobutano presenta una mayor potencia neta respecto al Isopentano (8.8%) y R245fa (5.6%) a pesar que para el ciclo con Isobutano se requiere mayor consumo de potencia de bombeo 142.1 kW, sin embargo, este ciclo se ve compensado con una producción de trabajo en la turbina mayor que el ciclo con isopentano e R245fa. Sobre la temperatura de reinyección al pozo geotérmico, el CB con Isopentano e Isobutano presentan un mejor aprovechamiento del recurso debido a que ingresa con 369.3 K y sale con 337.8 K y 338.3 K, respectivamente.

Sobre el cuarto objetivo específico, se analizó el performance de la Planta de Energía Geotérmica Binaria en diversos escenarios de operación, obteniéndose que el fluido Isobutano tiene un mejor comportamiento con una eficiencia de utilización de 45.7% y una eficiencia térmica de 13.3%, eso implica que se dispone de mayor cantidad de trabajo neto con menores pérdidas irreversibles y un mejor aprovechamiento del fluido geotérmico.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis termodinámico con otras configuraciones de ciclo binario más complejas, como el CB Flash, Regenerativo y doble presión de operación, con la finalidad de comparar el performance.
- Se recomienda realizar un análisis de costos de inversión que afectan a las centrales geotérmicas y los factores que influyen como costos de operación y mantenimiento, así también el mercado de inyección a la red, por venta de energía.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Babativa, C. (2017). Diseño enfoque cuantitativo. In *Investigación cuantitativa* (Vol. 1). <https://core.ac.uk/download/pdf/326424046.pdf>
- Basaran, A., & Ozgener, L. (2013). Investigation of the effect of different refrigerants on performances of binary geothermal power plants. *Energy Conversion and Management*, 76, 483–498. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.058>
- Beltran A., J. M. (1999). *Evaluacion del flujo de calor y potencial geotérmico en la region de Ensenada, B.C. México*. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/9144>
- Campodónico, H., & Carrera, C. (2022). Energy transition and renewable energies: Challenges for Peru. *Energy Policy*, 171, 113261. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113261>
- Cideos N., O. F. (2012). Power production using low-temperature heat sources in El Salvador, Geothermal Training Programme. *GEOHERMAL TRAINING PROGRAMME*, 9(8), 27. <https://rafhladan.is/handle/10802/8604>
- Fazal, M. R., & Kamran, M. (2021). *Chapter 9 - Geothermal energy* (M. Kamran & M. R. B. T.-R. E. C. S. Fazal (eds.); pp. 265–281). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823538-6.00006-3>
- Guzović, Z., Rašković, P., & Blatarić, Z. (2014). The comparison of a basic and a dual-pressure ORC (Organic Rankine Cycle): Geothermal Power Plant Velika Ciglena case study. *Energy*, 76, 175–186. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.005>
- Hajianto, M. R., & Haramaini, M. N. (2021). Organic Fluids Used For Binary Cycles in the Geothermal Power Plant Pt. Xxx to Utilize the Waste Brine of Geothermal Separator Output. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 10(10), 06–12. <https://www.ajer.org/papers/Vol-10-issue-10/B10100612.pdf>
- Hu, B., Guo, J., Yang, Y., & Shao, Y. (2022a). Experimental study on horizontal tube spray falling film evaporator in a low temperature geothermal binary cycle power system. *Energy Reports*, 8, 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.092>
- Hu, B., Guo, J., Yang, Y., & Shao, Y. (2022b). Optimization of low temperature geothermal organic Rankine power generation system. *Energy Reports*, 8, 129–138.

<https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.101>

INGEMET. (2023). *Potencial geotérmico del Perú* (Issue 6).

International Energy Agency. (2023). *World Energy Outlook 2023 | Enhanced Reader*. 23–28. <https://www.iea.org/news/the-energy-world-is-set-to-change-significantly-by-2030-based-on-today-s-policy-settings-alone>

IRENA. (2014). *PERU RENEWABLES READINESS ASSESSMENT*.

Jiménez Aviña, H. M., León De Los Santos, G., & González Durán, G. A. (2013). Comparativa De Rendimiento Energético Entre Un Ciclo Binario Y Un Modificado, Con Geotermia De Baja Entalpía. *Memorias Del XIX Congreso Internacional Anual de La SOMIM*, 10.

Lin, J., Qin, G., & Yue, H. (2020). Optimization of binary zeotropic mixture working fluids for an organic Rankine cycle for waste heat recovery between centrifugal compressor stages. *Energy Science and Engineering*, 8(5), 1746–1757. <https://doi.org/10.1002/ese3.629>

Ministerio de Energía y Minas. (2023). *Energía Geotérmica*.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. *Ministerio Para La Transición Ecológica y El Reto Demográfico, Gobierno de España*, 25. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>

Mondejar, M. E., & Chamorro, C. R. (2017). *Geothermal Power Technologies* (M. A. B. T.-E. of S. T. Abraham (ed.); pp. 51–61). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10095-8>

Moya, D., Aldás, C., & Kaparaju, P. (2018). Geothermal energy: Power plant technology and direct heat applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94(April 2017), 889–901. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.047>

Mucha-Hospinal, L. F., Chamorro-Mejía, R., Oseda-Lazo, M. E., & Alania-Contreras, R. D. (2021). Evaluation of procedures used to determine the population and sample in postgraduate research papers. *Journal of Social Sciences and Humanities*, 12(1), 50–57. <https://doi.org/10.37711/desafios.2021.12.1.253>

Noriega Sanchez, C. J., Gosselin, L., & K. da Silva, A. (2018). Designed binary mixtures for

- subcritical organic Rankine cycles based on multiobjective optimization. *Energy Conversion and Management*, 156, 585–596.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.11.050>
- Ohji, A., & Haraguchi, M. (2022). 2 - Steam turbine cycles and cycle design optimization: the Rankine cycle, thermal power cycles, and integrated gasification-combined cycle power plants. In T. B. T.-A. in S. T. for M. P. P. (Second E. Tanuma (Ed.), *Woodhead Publishing Series in Energy* (pp. 11–40). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824359-6.00020-2>
- OSINERMING. (2008). *Decreto Legislativo 1002. Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.*
- Paulillo, A., Striolo, A., & Lettieri, P. (2022). *Chapter 8 - Life cycle assessment of geothermal power technologies* (P. A. Fokaides, A. Kylili, & P. B. T.-E. A. of R. E. C. T. Georgali (eds.); pp. 181–210). Elsevier.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817111-0.00002-4>
- Prasetyo, T., Surindra, M. D., Caesarendra, W., Taufik, Glowacz, A., Irfan, M., & Glowacz, W. (2020). Influence of superheated vapour in organic rankine cycles with working fluid R123 utilizing low-temperature geothermal resources. *Symmetry*, 12(9).
<https://doi.org/10.3390/sym12091463>
- Shahrooz, M., Lundqvist, P., & Neksa, P. (2022). Performance of binary zeotropic mixtures in organic Rankine cycles (ORCs). *Energy Conversion and Management*, 266, 115783.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115783>
- Spadacini, C., Xodo, L. G., & Quaia, M. (2017). *14 - Geothermal energy exploitation with Organic Rankine Cycle technologies* (E. Macchi & M. B. T.-O. R. C. (ORC) P. S. Astolfi (eds.); pp. 473–525). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100510-1.00014-4>
- Vargas, V., & Cruz, V. (2010). Geothermal Map of Perú. *Proceedings World Geothermal Congress, April, 25–29.*
- Vélez, F. (2014). Selecting working fluids in an organic Rankine cycle for power generation from low temperature heat sources. *DYNA (Colombia)*, 81(188), 173–180.
<https://doi.org/10.15446/dyna.v81n188.41666>
- Vizcaíno Zúñiga, P. I., Cedeño Cedeño, R. J., & Maldonado Palacios, I. A. (2023).

- Metodología de la investigación científica: guía práctica. In *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* (Vol. 7, Issue 4). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658
- Woodland, B. J., Ziviani, D., Braun, J. E., & Groll, E. A. (2020). Considerations on alternative organic Rankine Cycle configurations for low-grade waste heat recovery. *Energy*, *193*, 116810. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116810>
- Xu, B., Rathod, D., Yebi, A., Onori, S., Filipi, Z., & Hoffman, M. (2020). A comparative analysis of dynamic evaporator models for organic Rankine cycle waste heat recovery systems. *Applied Thermal Engineering*, *165*, 114576. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114576>
- Yaïci, W., Entchev, E., Talebizadehsardari, P., & Longo, M. (2020). Thermodynamic, economic and sustainability analysis of solar organic rankine cycle system with zeotropic working fluid mixtures for micro-cogeneration in buildings. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 21). <https://doi.org/10.3390/app10217925>
- Yari, M. (2010). Exergetic analysis of various types of geothermal power plants. *Renewable Energy*, *35*(1), 112–121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.023>
- Zare, V. (2015). A comparative exergoeconomic analysis of different ORC configurations for binary geothermal power plants. *Energy Conversion and Management*, *105*, 127–138. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.07.073>
- Zeyghami, M. (2015). Performance analysis and binary working fluid selection of combined flash-binary geothermal cycle. *Energy*, *88*, 765–774. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.092>
- Zeyghami, M., & Nouraliee, J. (2015). Effect of Different Binary Working Fluids on Performance of Combined Flash Binary Cycle. *Proceedings World Geothermal Congress, April*, 19–25.
- Zhao, Y., Du, B., Chen, S., Zhao, J., Guo, Z., & Wang, L. (2022). Energy and Conventional and Advanced Exergy Analyses of Low-Temperature Geothermal Binary-Flashing Cycle Using Zeotropic Mixtures. *Energies*, *15*(10). <https://doi.org/10.3390/en15103487>

VII. ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica de Termómetro para Suelo Compost



Especificaciones		Información adicional
Condición del producto	Nuevo	<p>Termómetro para Suelo Compost medidor probador de temperatura Marca: OEM - Modelo: TTE35126 06 Meses de Garantía - Envíos a todo el Perú</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Se puede utilizar para medir la temperatura de compost, el suelo, los fertilizantes, la temperatura del agua, etc. · No requiere uso de baterías ni pilas. · Hecho de acero inoxidable resistente a condiciones extremas de corrosión. · Fácil limpieza · Peso ligero de fácil transporte. <p>Especificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Rango de temperatura: 0°C - 120°C · Precisión: ± 2°C · Material principal: acero inoxidable 304 · Diámetro del Dial: 54mm · Tamaño de la Sonda: 500mm · Peso: 500g · Fuente de alimentación: no requiere uso de baterías <p>El paquete incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> · 01 Termómetro
Modelo	TTE35126	
País de origen	China	
Alimentación	Bomba manual	
Tipo de pantalla	QLED	
Alcance	500 mm	
Garantía	6 meses	
Rango de temperatura	0°C a 120°C	
Tamaño de la pantalla	48mm	

Nota: Tomado de *Termómetro para Suelo Compost medidor probador de temperatura*, 2023, falabella.com. (<https://www.falabella.com.pe/falabella-pe/product/116104405/Termometro-para-Suelo-Compost-medidor-probador-de-temperatura/116104406>).

Anexo 2: Ficha técnica de Termómetro TM-902C

Specifications:

Measurement range: -50°C to 1300°C

Resolution: 1°C

Accuracy:

0°C to 500°C : $\pm(0.75\%+1^{\circ}\text{C})$

500°C to 750°C : $\pm(1\%+1^{\circ}\text{C})$

0°C to -20°C : $\pm 2^{\circ}\text{C}$

-20°C to -40°C : $\pm 3^{\circ}\text{C}$

-40°C to -50°C : -3°C

Working temperature: 0 to 50°C

Storage temperature: -10°C to 60°C

Battery life: power consumption of 5 MW,
continuous use 500-900 hours



Nota: Tomado de Termómetro Detector de temperatura Digital LCD, termodetector Industrial, sonda termopar, color negro K, TM-902C, 2023, aliexpress.com. (<https://es.aliexpress.com/item/32802814043.html>).

Anexo 3: Ficha técnica de Sensor de sonda termopar TP02 TP-02 TP 02 K

Descripción:

Termopar: tipo K

Rango de temperatura: -58 a 1292 °F (-50 a 700 °C)

Sonda de acero inoxidable

Longitud de la sonda: aprox. 8,9 cm/3,5 pulgadas

Diámetro de la sonda: 0,12 pulgadas (3mm)

Mango: aprox. 4 cm/1,57 pulgadas

Conector K miniatura

El paquete incluye:

1 * Sensor de sonda termopar



Nota: Tomado de *Sensor de sonda termopar TP02 TP-02 TP 02 K, controlador de temperatura con Cable TP-02*, 2023, aliexpress.com. (<https://es.aliexpress.com/item/4000210083658.html>).

Anexo 4: Ficha técnica de Sonda Termopar Tipo K

Nuevo y de alta calidad

Termopar: tipo K

Rango de temperatura: -50 °C a 1200 °C

La longitud de la sonda: aprox. 100mm / 150mm / 200mm / 300mm / 500mm

Cantidad: 1 ud.

Característica:

1. Conector tipo K, rango de temperatura de -50 °C a 1200 °C.
2. Alta sensibilidad, duradero en uso.
3. Un gran termopar de inserción pequeño con un sensor tipo K, se puede insertar en agua o cualquier otro objeto que desee medir.
4. Tiene un conector de tipo miniatura que funcionará con termómetros digitales tipo K.

El paquete incluye:

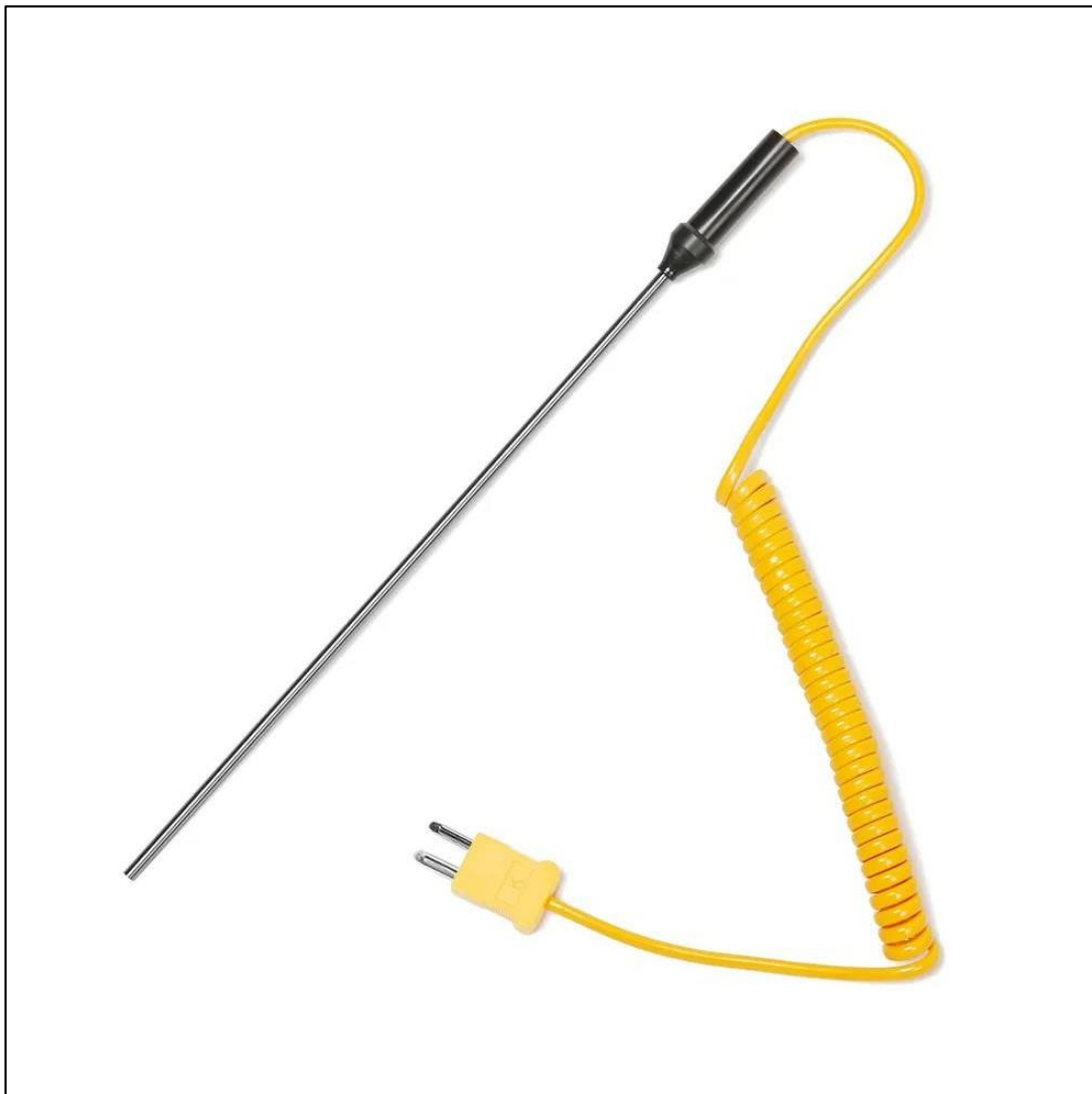
1 x sonda termopar tipo K

Aviso:

1,1 cm = 10Mm = 0,39 pulgadas.

2. Permita un error de 1-2MM debido a la medición manual y asegúrese de que no le importe antes de realizar el pedido.

3. Por favor, comprenda que los colores pueden existir aberraciones cromáticas debido a la diferente colocación de las imágenes.



Nota: Tomado de Sonda Termopar Tipo K con Cable de alambre, Sensor de sonda, controlador de temperatura, herramientas de instrumentos de temperatura, a 1200C 50C, 1 unidad, 2023, aliexpress.com. (<https://es.aliexpress.com/item/1005004329366903.html>).

Anexo 5: Ficha técnica de Pirómetro Infrarrojo Láser

Pirómetro Termómetro Industrial Infrarrojo - GM320

Marca: **BENETECH** - Modelo: **GM320**

6 meses de Garantía - **Equipo en Perú**

Equipo original, no se deje engañar por imitaciones.

CARACTERÍSTICAS

- Ergonómico y fácil de usar - Pequeño y ligero, buen agarre, muy agradable al tacto.
- El equipo se encenderá y la medición de la temperatura por una simple presión sobre el gatillo; y la pantalla LCD se puede leer incluso en condiciones de poca luz.
- Consume poca energía, el equipo se apaga automáticamente luego de 10 segundos de una medición, por lo que la batería debe durar mucho tiempo.
- Lectura rápida, la medición de la temperatura de la superficie se obtendrá en menos de un segundo.
- Luego de obtener una medición, los resultados permanecerán bloqueados en la pantalla para la comodidad de la toma de datos.

AMPLIAMENTE UTILIZADO:

- Para uso en el hogar: Cuando la cocción, la temperatura de funcionamiento de la plancha o la rejilla de la parrilla, cocer, comida caliente o fría, enfriador de vino, piscinas, calefacción, aire acondicionado, puentes térmicos ventanas, puertas o paredes, radiadores, tuberías de agua caliente, superficies de cocina, de aislamiento caliente de tuberías, conectores eléctricos, lámparas eléctricas, pista acuario.
- Para sector industrial: Mediciones de temperatura de neumáticos y el sistemas de frenado del vehículo, sistemas de aire acondicionado, medición de temperatura de alimentos, etc.
- Para los otros: de asfalto caliente, cojinetes de eje, las altas temperaturas, peligrosos, químicos o objetos inaccesibles.

ESPECIFICACIONES

- Marca: **BENETECH**
- Modelo: **GM320**
- Rango de Temperatura: **-50°C ~ 400°C (-58°F ~ 752°F) ± 1,5%**
- Emisividad: **0,95 (Fijo)**
- Precisión: **± 1,5°C o ± 1,5°F**
- Repetibilidad: **± 1°C o ± 1°F**
- Resolución: **0,1°C / 0,1°F**
- Pantalla: **LCD retroiluminado**
- Selección de luz de fondo: **ON/OFF**
- Puntero de objetivo: **láser (< 1 mW 630nm-650nm)**
- Relación (D:S): **12: 1**
- Longitud de onda: **Los 5~ 14um**
- Selección: **°C / °F**
- Tiempo de respuesta: **500 ms**
- Apagado automático
- Indicación de batería baja
- Fuente de alimentación: **02 pilas AAA de 1, 5v (incluidas)**
- Peso: **135g**

EL PAQUETE INCLUYE:

- **01 Pirómetro**
- **02 Pilas AAA**
- **01 Manual de usuario**



Nota: Tomado de *Pirómetro Termómetro Industrial Infrarrojo Láser GM320 - BENETECH*, 2023, falabella.com. (<https://www.falabella.com.pe/falabella-pe/product/114379753/Pirometro-Termometro-Industrial-Infrarrojo-Laser-GM320-BENETECH/114379754>).


Anexo 6: Ficha técnica de Termohigrómetro LCD

TermoHigrómetro con indicador de hora, muy práctico y de fácil instalación.


Posee un botón selector de tipo de medición para medir la **humedad y temperatura** de interiores como de exteriores, configuración de hora y calendario. Además puede elegir el tipo de unidad de medidas de la temperatura en °C y °F.

- Rango de medición de temperatura: -10 C +50 C (-14 F- + 122 TF).
- Precisión de medición de temperatura: + 1 °C (1.8 F).
- Resolución de temperatura: 0.1 C (0.2 "F).
- Rango de medición de la humedad: 10% RH - 99% RH.
- Precisión de medición: + 5% RH.
- Resolución: 1%
- Energía: 1 Pila AAA 1.5V.

Acta de aprobación de originalidad

	ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD					
Yo, M.Sc. Chucuya Huallpachoque Roberto Carlos						
Facultad:	Ciencias		Educación		Ingeniería	X
Departamento Académico		ENERGIA, FISICA Y MECANICA				
Titulo:	X	Maestría:		Doctorado		
Programa:						
De la Universidad Nacional del Santa. Asesor / Unidad de Investigación revisora del trabajo de Investigación intitulado:						
EVALUACIÓN DEL FLUIDO DE OPERACIÓN EN EL PERFORMANCE DEL CICLO BINARIO MEDIANTE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN LA REGIÓN 2 – ANCASH, 2022						
De los estudiantes: Pérez Gonzáles Víctor Manuel y Velásquez Villafana Juan Carlos.						
De la escuela / departamento académico: Ingeniería en Energía						
Constato que la investigación presentada tiene un porcentaje de similitud aceptable el cual se verifica con el reporte de originalidad de la aplicación Turnitin a posterior.						
Quién suscribe la presente, declaro el haber revisado y analizado y concluyo que las coincidencias detectadas no se conforman como plagio. A mi claro saber y entender, la investigación cumple con las normas de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional del Santa.						
Nuevo Chimbote, 22 Noviembre de 2024						
Firma:						
Nombres y Apellidos del Asesor/Presidente UI: M.Sc. Chucuya Huallpachoque Roberto Carlos						
DNI: 40149444						

Declaración jurada de autoría

	DECLARACION JURADA DE AUTORÍA					
Yo, Pérez González Víctor Manuel estudiante de la						
Facultad:	Ciencias		Educación		Ingeniería	X
Escuela Profesional:		Ingeniería en Energía				
Departamento Académico:						
Escuela de Posgrado		Maestría		Doctorado		
Programa:						
De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación es un trabajo inédito , intitulado:						
EVALUACIÓN DEL FLUIDO DE OPERACIÓN EN EL PERFORMANCE DEL CICLO BINARIO MEDIANTE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN LA REGIÓN 2 – ANCASH, 2022						
presentado en ...65..... folios, para la obtención del Grado académico:						()
Título profesional:	(X)	Investigación anual:			()	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo. ➤ Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional. ➤ Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN. ➤ De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario. 						
Chimbote, 22 de Noviembre 2024						
Firma:						
Nombres y Apellidos: PÉREZ GONZÁLES VÍCTOR MANUEL						
DNI: 32945741						



DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

Yo, Velásquez Villafana Juan Carlos estudiante de la

Facultad:	Ciencias		Educación		Ingeniería	X
Escuela Profesional:	Ingeniería en Energía					
Departamento Académico:						
Escuela de Posgrado	Maestría			Doctorado		

Programa:

De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación es un **trabajo inédito**, intitulado:

EVALUACIÓN DEL FLUIDO DE OPERACIÓN EN EL PERFORMANCE DEL CICLO BINARIO MEDIANTE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN LA REGIÓN 2 – ANCASH, 2022

presentado en ...65..... folios, para la obtención del Grado académico: ()

Título profesional: (X) Investigación anual: ()

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.
- Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.
- De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.

Chimbote, 22 de Noviembre 2024

Firma:

Nombres y Apellidos: VELÁSQUEZ VILLAFANA JUAN CARLOS

DNI: