

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA GEOTÉRMICO VERTICAL DE BAJA  
ENTALPÍA DE 1613.36 MWh PARA MANTENER LAS  
CONDICIONES DE CONFORT EN EL HOTEL CASA ANDINA SELECT  
EN MOQUEGUA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN ENERGÍA

BACHILLER: SHEILA CORIN CURIÑAUPA PEREZ

BACHILLER: ANIBAL JUNIOR FLORES AVILA

Callao, 2021

PERÚ



**ACTA N° 011 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO TALLER DE TESIS PARA LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA**

**LIBRO .....FOLIO N.º, ..... ACTA N° 011 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO TALLER DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA**

A los 25 días del mes febrero, del año 2021, siendo las 19:50 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/nqn-npve-juc>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO** profesional de **Ingeniero en Energía** de la **Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

- |                                     |   |            |
|-------------------------------------|---|------------|
| ▪ Dr. Félix Alfredo Guerrero Roldán | : | Presidente |
| ▪ Dr. Pablo Mamani Calla            | : | Secretario |
| ▪ Mg. Adolfo Orlando Blas Zarzosa   | : | Miembro    |
| ▪ Dr. Juan Manuel Palomino Correa   | : | Asesor     |

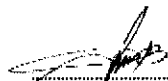
Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de la Bachiller **CURINAUPE PEREZ SHEILA CORIN**, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero en Energía sustenta la tesis titulada **"DISEÑO DE UN SISTEMA GEOTÉRMICO VERTICAL DE BAJA ENTALPÍA DE 1613.36 MW<sub>h</sub> PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE CONFORT EN EL HOTEL CASA ANDINA SELECT EN MOQUEGUA"**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid-19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N° 039-2020-SUNEDU-CO y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario":

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa **MUY BUENO** y calificación cuantitativa **16 (dieciseis)**, la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 245-2018- CU del 30 de Octubre del 2018.

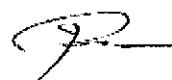
Se dio por cerrada la Sesión a las 20:35 horas del 25 del mes y año en curso.



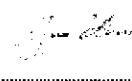
Dr. Félix Alfredo Guerrero Roldán  
Presidente de Jurado



Mg. Adolfo Orlando Blas Zarzosa  
Miembro de Jurado



Dr. Pablo Mamani Calla  
Secretario de Jurado



Dr. Juan Manuel Palomino Correa  
Asesor

**“DISEÑO DE UN SISTEMA GEOTÉRMICO VERTICAL DE BAJA  
ENTALPÍA DE 1613.36 MWh PARA MANTENER LAS  
CONDICIONES DE CONFORT EN EL HOTEL CASA ANDINA SELECT  
EN MOQUEGUA”**

**Sheila, dedica esta tesis especialmente a mi madre Cristina Perez Diaz, a mi padre David Curiñaupa Ochante, quienes me dieron la vida, educación, apoyo y consejos. Les agradezco desde el fondo de mi alma.**

**Junior, dedica esta tesis especialmente a mi madre Ana Ávila Cornelio, a mi padre Aníbal Flores Ampudia, por comprender mi ausencia en sus mejores momentos de su vida.**

**Agradecimiento a mi asesor el Dr. Juan Manuel  
Palomino Correa.**

## INDICE

INDICE .....	1
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
TABLA DE IMÁGENES Y OTROS .....	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>10</b>
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	10
1.2. Formulación del Problema .....	12
1.2.1. Problema General .....	12
1.2.2. Problemas Específicos.....	12
1.3. Objetivos de la Investigación .....	12
1.3.1. Objetivo General .....	12
1.3.2. Objetivos Específicos.....	13
1.4. Limitantes de la investigación .....	14
1.4.1 Limitación Teórica.....	14
1.4.2 Limitación Temporal .....	14
1.4.3 Limitación Espacial.....	14
<b>II. MARCO TEORICO .....</b>	<b>15</b>
2.1 Antecedentes del estudio nacionales e internacionales .....	15
2.1.1 Antecedentes Internacionales .....	15
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	18
2.2 Bases Teóricas .....	20
2.3 Marco Conceptual .....	21
2.4 Definiciones de términos básico u otros contenidos.....	22
2.4.1 Geotermia .....	22
2.4.2 Descripción de Sistema Geotérmicos de Baja Entalpía .....	24
2.4.3 Usos de la Energía Geotérmica .....	27
2.4.3.1 Vivienda Ocio y Salud .....	27
2.4.4 Circuito de Intercambio de Calor con la Tierra .....	28

2.4.4.1 Sistema Geotérmico de Baja Entalpía de Circuito Abierto con Uso de Aguas Subterráneas .....	28
<b>III. HIPOTESIS Y VARIABLES.....</b>	<b>30</b>
3.1 Hipótesis (General y específicas, de ser el caso).....	30
3.1.1 Hipótesis General.....	30
3.1.2 Hipótesis Específicas .....	30
3.2 Definición conceptual de variables .....	30
3.2.1 Variable Dependiente.....	30
3.2.2 Variable Independiente.....	31
3.3 Operacionalización de variable (Dimensiones, indicadores, índices, métodos y técnica).....	32
<b>IV. DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>33</b>
4.1 Tipo y Diseño de la Investigación.....	33
4.1.1 Temperatura de la Tierra en Moquegua .....	35
4.1.2 Evaluación del Potencial Geotérmico en la Localidad de Moquegua	36
4.1.3 Coeficiente de Rendimiento.....	37
4.1.4 Propiedades térmicas del Terreno .....	38
4.1.4.1 Conductividad, Capacidad Térmica y Difusividad .....	38
4.1.5 Reconocimiento del Sistema de Climatización existente en el Hotel	39
4.1.6 Diseño del Intercambiador Geotérmico .....	39
4.1.6.1 Bomba de Calor Geotérmica.....	40
4.1.6.2 Selección de Bomba de Calor.....	41
4.1.6.3 Rendimiento de la Bomba de Calor.....	41
4.1.6.4 Elección del Fluido Circulante.....	42
4.1.6.5 Elección de la Configuración.....	42
4.1.6.6 Elección de los tubos .....	44
4.1.6.7 Elección de diámetro de la tubería.....	45
4.1.6.8 Dimensionamiento del Intercambiador de Calor Enterrado.....	45
4.1.6.9 Temperaturas máximas y mínimas de la tierra .....	46
4.1.6.10 Temperatura máximas y mínimas de entrada del fluido a la bomba de calor .....	46
4.1.6.11 Resistencia de los tubos al flujo de calor.....	47



4.1.6.12 Resistencia de la tierra.....	47
4.1.6.13 Factor de Utilización.....	48
4.1.6.14 Procedimiento de cálculo de las cargas de diseño .....	48
4.1.6.15 Longitud del intercambiador enterrado .....	49
4.1.6.16 Área del terreno para el Intercambiador Enterrado .....	49
4.1.6.17 Modelación Térmica del suelo alrededor del tubo Colector Enterrado	
51	
4.1.7 Distribución de áreas del Hotel Casa Andina Select.....	52
4.2 Método de la Investigación.....	54
4.3 Población y Muestra.....	56
4.4 Lugar de estudio y período desarrollado .....	56
4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de la información.....	56
4.6 Análisis y procesamiento de datos.....	59
V. RESULTADOS .....	60
5.1 Resultados Descriptivos .....	60
5.1.1 Temperatura de la tierra en Moquegua .....	60
5.1.2 Comportamiento de la temperatura de manera anual .....	61
5.2 Selección de equipos.....	74
5.2.1 Diseño de intercambiador geotérmico.....	74
5.2.2 Propiedad del fluido circulante.....	75
5.2.3 Configuración del intercambiador de calor .....	76
5.2.4 Elección de tubería colectora .....	77
5.2.5 Temperaturas máximas y mínimas de la tierra.....	78
5.2.6 Temperatura mínima de la entrada del fluido a la bomba de calor. 78	
5.2.7 Diferencia de temperaturas entre el circuito y el suelo .....	78
5.2.8 Resistencia de los tubos al flujo del calor.....	78
5.2.9 Resistencia de la Tierra .....	79
a) Cálculo de Intercambiador Geotérmico .....	79
5.2.10 Modelamiento del sistema geotérmico de baja entalpia .....	81
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	82
6.1 Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados: .....	82
a) HIPOTESIS N°1 .....	82
b) HIPOTESIS N°2.....	82

c)	HIPOTESIS N°3.....	83
d)	HIPOTESIS N°4.....	83
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares .....	85
6.3	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes (el autor de la investigación se responsabiliza por la información emitida en el informe)87	
	CONCLUSIONES.....	88
	RECOMENDACIONES .....	89
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	90
	ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	92
	ANEXO 2 MAPA GEOTÉRMICO DE LA REGIÓN MOQUEGUA.....	96
	ANEXO 3 MAPA GEOTÉRMICO POR ZONAS DE LA REGIÓN MOQUEGUA ....	97
	ANEXO 4 PROPIEDADES DEL TERRENO .....	98
	ANEXO 5 HOTEL CASA ANDINA SELECT – PRIMER PISO .....	99
	ANEXO 6 HOTEL CASA ANDINA SELECT – SEGUNDO PISO .....	100
	ANEXO 7 HOTEL CASA ANDINA SELECT – TERCER PISO .....	101
	ANEXO 8 VALORES DEL HOTEL CASA ANDINA SELECT .....	102
	ANEXO 9 FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA.....	103
	.....	103
	ANEXO 10 FICHA TÉCNICA DE LA TUBERÍA .....	104
	.....	105
	ANEXO 11 ESPECIFICACIONES DE LA TUBERIA POLIETILENO .....	106
	ANEXO 12 PROPIEDADES DEL FLUIDO .....	109
	ANEXO 13 PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	110
	ANEXO 14 RETORNO DE INVERSIÒN .....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1 Operacionalización de variables

Tabla 5. 1 Selección de Equipos - Intercambiador de Calor

Tabla 5. 2 Propiedades del Fluido

Tabla 5. 3 Características del Polietileno

Tabla 5. 4 Temperaturas del Terreno - Moquegua

Tabla 6. 1 Resultados de la Hipótesis N°01

Tabla 6. 2 Resultados de la Hipótesis N°02

Tabla 6. 3 Resultados de la Hipótesis N°03

Tabla 6. 4 Resultados de la Hipótesis N°04

Tabla 6. 5 Contrastación de los Resultados

## **TABLA DE IMÁGENES Y OTROS**

Ilustración 4. 1 Hotel Casa Andina Select - Lugar de Estudio

Ilustración 4. 2 Esquema de Sonda Geotérmica

Ilustración 4. 3 Diseño del Tipo Vertical

Ilustración 4. 4 Diseño del Sistema Geotérmico

Ilustración 4. 5 Caja negra

Ilustración 4. 6 Caja blanca

Ilustración 5. 1 Comportamiento de la Temperatura Anual

Ilustración 5. 2 Parámetros Básicos del RESTSCREEN EXPERT

Ilustración 5. 3 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Enero

Ilustración 5. 4 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Febrero

Ilustración 5. 5 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Marzo

Ilustración 5. 6 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Abril

Ilustración 5. 7 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Mayo

Ilustración 5. 8 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Junio

Ilustración 5. 9 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Julio

Ilustración 5. 10 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Agosto

Ilustración 5. 11 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Setiembre

Ilustración 5. 12 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Octubre

Ilustración 5. 13 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Noviembre

Ilustración 5. 14 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Diciembre

## RESUMEN

La presente tesis tiene como propósito el estudio de la implementación de un sistema geotérmico del tipo vertical de baja entalpía para calefaccionar el hotel casa andina select ubicada en Moquegua. A través de una fuente de energía renovable como es el calor presente en el interior de la tierra, dicha energía será extraída por medio de bombeo de un fluido el cual ganará energía en forma de calor la cual será llevado hacia el interior de hotel y así aprovecharlo. Para hacer uso de dicha energía es necesario conocer el potencial geotérmico de lugar donde esta ubicado nuestro hotel, así como que característica del suelo, también conocer la variación de temperatura del suelo durante todo año. Para hacer uso de la energía interna de la tierra es necesario incorporar un sistema con bomba de calor, el cual ejercerá como intermediario para impulsar el calor que se transfiere en el intercambiador geotérmico de esa forma se llevara hacia el hotel donde se distribuirá en la superficie de nuestro recinto, aportando energía en forma de calor necesario para acondicionar térmicamente el lugar. después de obtener la carga termina del hotel y realizar los cálculos se procede a la selecciona la bomba de calor que cumpla con la demanda establecida, el fluido calor aportador y el dimensionamiento de intercambiador geotérmico vertical al final haremos el uso un software especializado en la simulación de nuestro sistema y obtener la máxima energía extraída del suelo que cumpla con la demanda térmica obtenida

**Palabras claves:** Energía Geotérmica, bomba de calor, calefacción.

## **ABSTRACT**

The purpose of this thesis is to study the implementation of a low enthalpy vertical geothermal system to heat the hotel casa andina select located in Moquegua. Through a renewable energy source such as the heat present in the interior of the earth, this energy will be extracted by pumping a fluid, which will gain energy in the form of heat which will be taken to the interior of the hotel and thus take advantage of it. To make use of this energy it is necessary to know the geothermal potential of the place where our hotel is located, as well as the characteristics of the soil, and also to know the temperature variation of the soil throughout the year. To make use of the internal energy of the earth is necessary to incorporate a system with heat pump, which will act as an intermediary to drive the heat that is transferred in the geothermal exchanger in that way will be taken to the hotel where it will be distributed on the surface of our enclosure, providing energy in the form of heat needed to thermally condition the place. After obtaining the final load of the hotel and performing the calculations we proceed to the selection of the heat pump that meets the established demand, the heat contributing fluid and the sizing of the vertical geothermal exchanger at the end we will use a specialized software to simulate our system and obtain the maximum energy extracted from the ground that meets the thermal demand obtained.

Keywords: Geothermal Energy, heat pump, heating

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo geotérmico en el Perú ha sido afectado por una serie de problemas complejos y dificultades, principalmente relacionadas con el conocimiento del contexto geotérmico, social, marco político, normativo y regulatorio, y con el soporte en infraestructura e implementación. La falta de articulación entre todos estos componentes, y finalmente entre los principales actores (Gobierno-Comunidades-Empresas Geotérmicas) ha sido identificada en particular como la principal deficiencia. (Munoz Carmona, y otros, 2014)

Por ello graduado de ingeniería en Energía tiene diversos campos de conocimiento, así como responsabilidad, adaptarse a la constante evolución e innovación de la tecnología que viene dándose desde principios del siglo xx y ello viene afectando de manera directa e ineludible al deterioro de las condiciones de vida humana y el medio que lo rodea (Munoz Carmona, y otros, 2014)

Con ello la presente tesis busca hacer énfasis en descubrir nuevas formas de energía que suplante a las convencionales y sentar un precedente que a pesar de las series de dificultades que tiene el aprovechamiento de la energía renovables como es el caso de la energía geotérmica se puede elaborar diseños de sistemas renovables que brinden las condiciones de confort a la que la persona está acostumbrada a convivir, siendo estas energías amigables con el medio ambiente y duradera a lo largo de los años. (OSINERGMIN, 2013)

# **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1. Descripción de la realidad problemática**

El desarrollo de las energías renovables no convencionales en el Perú ha tenido un lento crecimiento, en especial la geotermia de alta y baja entalpia, Las regiones comprendidas en el Cinturón de Fuego del Pacífico son los lugares más favorecidos para el desarrollo de la energía geotérmica, y su aprovechamiento contribuiría de manera fundamental al desarrollo de muchas regiones de nuestro país. (Angulo, 2001)

Desde 1986 se efectuaron estudios de reconocimiento geotérmico con asistencias técnicas de varias empresas como : La Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), Se realizó el estudio geo vulcanológico e inventario sistemático de las manifestaciones geotermiales del lote TUTUPACA, Se realizó el estudio de evaluación de las zonas hidrotermales en las Pampas de KALLAPUMA y alrededores, Se realizó el “Análisis de información geoquímica de la zonas geotérmicas en el Sur Este del Perú con el apoyo del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) de México. (Segura, 2018)

En el 2007 – 2012: Se desarrolló la exploración geotérmica de dos proyectos pilotos para construir plantas geotérmicas: campos de Calientes y Borateras con la cooperación japonesa, también se elaboró el Plan Maestro de Desarrollo de Energía Geotérmica con apoyo de JICA (Japón).En este estudio, no solo se va a enfocar en la generación de energía eléctrica sino también para la calefacción, Refrigeración, Producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS), Acuicultura, Ganadería, Invernaderos y la climatización de la vivienda pero se va a presentar como energía geotérmica de baja entalpia. (Minas, 2012)

En la Región Moquegua, Perú existe el recurso geotérmico que hasta la actualidad es intangible, y que su aprovechamiento podría ser muy beneficioso, en esencia para cubrir parte de la demanda de energía que existe en dicha zona. (Minas, 2012)



Por ello se sabe que la electricidad es una fuente de energía principal, que en muchas zonas del Perú se vuelve muy costoso y discriminatorio; es por ello que realizar un proyecto de diseño de modelo geotérmicos de baja entalpía es necesario , por que busca ser una alternativa muy rentable y favorable para el menor consumo eléctrico es por ello que se desarrollara basándose en guías técnicas de diseño, que permitirán a través de las modelaciones concluir sobre la factibilidad técnica y económica, así como también el uso efectivo de las estructuras ociosas que permitan mitigar la inversión inicial garantizando sostenibilidad y confort tanto para su población así como para el turismo, siendo este bien, más barato y con más acceso a más familias y distintos tipos de negocios. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cómo realizar el diseño de un sistema geotérmico de baja entalpía de 1613.36 MWh para mantener las condiciones de confort en el Hotel Casa Andina Select en Moquegua?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿Cómo realizar el estudio geotécnico local para conocer el potencial geotérmico?
- ¿Cómo diseñar el intercambiador geotérmico para cumplir con la carga térmica en el Hotel Casa Andina Select en Moquegua?
- ¿Cómo seleccionar los componentes mecánicos y eléctricos del sistema de distribución de climatización en el Hotel Casa Andina Select?
- ¿Cómo simular mediante el programa EWS las condiciones de operación del Sistema Geotérmico Propuesto?

## **1.3. Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema geotérmico de baja entalpía 1613.36 MWh para mantener las condiciones de confort en el Hotel Casa Andina Select en Moquegua.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Realizar el estudio geotécnico local para conocer el potencial geotérmico.
- Diseñar el intercambiador geotérmico para cumplir con la carga térmica en el Hotel Casa Andina Select en Moquegua.
- Seleccionar los componentes mecánicos y eléctricos del sistema de distribución de climatización en el Hotel Casa Andina Select.
- Simular mediante el programa EWS las condiciones de operación del Sistema Geotérmico Propuesto.

## **1.4. Limitantes de la investigación**

### **1.4.1 Limitación Teórica**

Las leyes y la normativa que existe en nuestro país no reflejan un apoyo a la implementación de este sistema de energía renovable. ((GPAE), 2017)

Nos existen estudios específicos de como implementar este tipo de energía en nuestro país. ((GPAE), 2017)

### **1.4.2 Limitación Temporal**

El precio de una instalación de geotermia en una vivienda es bastante más costoso que instalar gas natural. Requiere de una inversión inicial muy elevada y su periodo de amortización es alto, pero el ahorro energético es notable de forma que, como inversión a largo plazo es rentable. Aun así, la mayoría de las personas optan por instalar gas natural. (Selectra)

### **1.4.3 Limitación Espacial**

Diseño de un sistema geotérmico vertical de baja entalpía de 1613.36 MWh para mantener las condiciones de confort en el Hotel Casa Andina Select en Moquegua.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1 Antecedentes del estudio nacionales e internacionales

#### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

- La tesis titulada **“DISEÑO E INTEGRACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA APLICADA A PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN RESIDENCIAL”**, cuyo objetivo fundamental fue implementar sistemas geotérmicos de baja entalpía en Chile, está orientada a la generación de calor para calefacción de viviendas típicas chilenas ubicadas en dos zonas características de ese país. (Vielma Sossa , 2013)

En este estudio se aplicó un diseño practico, ya que busca solucionar el problema de confort térmico en las viviendas de ese país la investigación incluye estudios económicos en Santiago y Puerto Montt dos ciudades representativas de ese país, en los cuales compara los costos de calefacciones, logrando el confort térmico, en tres viviendas distintas por medio de la geotermia de baja entalpía y sistemas convencionales de calefacción más representativos en las ciudades descritas. (Vielma Sossa , 2013)

Asimismo, concluyo que los sistemas geotérmicos de baja entalpía son muy usados en países con un alto desarrollo siendo altamente eficientes, por lo cual, se evalúan estos sistemas basados en la realidad chilena con el objeto de verificar técnica, económica y legalmente si es factible construir sistemas geotérmicos de baja entalpia en ese país. (Vielma Sossa , 2013)

**La tesis en mención nos sirve de orientación para el desarrollo de un Sistema Geotérmico en una zona detallada, incluyendo información general y consideraciones para el desarrollo de un proyecto.**

- Baorui Ji (2015) en su tesis titulado **“DISIPACIÓN DEL CALOR EN UN SISTEMA GEOTÉRMICO DE BAJA ENTALPÍA”**, plantea como objetivo principal el estudio de la disipación del calor alrededor de un intercambiador con énfasis en su interacción con las aguas subterráneas, proporcionando una base teórica de la distribución óptima del intercambiador del calor. (Ji, 2015)

Esta investigación tiene una aplicación metodológica, ya que Desarrollar un modelo numérico para simular la disipación del calor alrededor de un intercambiador del sistema geotérmico considerando el flujo del agua subterránea y la influencia de los parámetros la heterogeneidad en la simulación de transporte de calor hacia el punto de consumo, asimismo, concluyo que, a través de considerar el impacto de agua subterránea, se puede optimizar la capacidad del diseño de distribución intercambiador. Y eso puede reducir la inversión inicial del sistema geotérmico que posiblemente desarrolle la energía geotérmica de baja entalpía a gran escala. (Ji, 2015)

**Esta tesis contribuye al conocimiento con respecto al estudio de calor en un área en específico, la cual nos ayuda para elaborar el diseño y guía para la distribución del sistema de climatización e instalación de equipos mecánicos y eléctricos.**

- **“APLICACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA PARA LA CLIMATIZACIÓN DE UN EDIFICIO DE OFICINAS EN ALCORCÓN”**, tiene como propósito el estudio de la viabilidad de la implantación de energía geotérmica de muy baja entalpía para la climatización de un edificio empresarial en Madrid. Para ello se emplearon cálculos teóricos y simulaciones realizadas mediante programas informáticos especializados con el fin de estimar los parámetros técnicos necesarios para su viabilidad. Se estimó el suministro de la potencia necesaria a través de tres bombas de calor tipo agua – agua que

sustituyen a las bombas de calor aire – aguas individuales anteriormente instaladas. El intercambio de colectores, bombas de circulación, depósito de inercia y vaso de expansión necesarios para funcionamiento del sistema. El estudio rentabilidad a medio plazo. Además de los beneficios económicos se realizó un estudio de las emisiones de gases de efecto invernadero demostrando la reducción de los mismos, lo que refleja que además de ser una tecnología económicamente viable es una energía limpia. (De Andres del Barrio, 2014)

**El proyecto resalta el estudio de la rentabilidad y viabilidad de la energía geotérmica, el cual nos ayuda para el diseño de un Sistema Geotérmico.**

Estos trabajos se relacionan con la investigación planteada ya que da pautas de cómo se debe realizar la implementación de un sistema geotérmico de baja entalpia que garantice el confort térmico de sus ocupantes en proyectos de construcción residencial así mismo como optimizar el diseño para poder tener un costo de inversión de inversión inicial mucho más bajo lo cual pueda hacer mucho más factible la implementación de este tipo de tecnología.

## 2.1.2 Antecedentes Nacionales

- **“PLAN MAESTRO PARA EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA GEOTERMICA EN EL PERÚ”**, la base de datos de desarrollo geotérmico debe ser construido sobre la base de los datos de recursos geotérmicos disponibles y así sucesivamente mejorada mediante la adición de información sobre el equilibrio entre la oferta y la demanda eléctrica, red de energía, el medio ambiente natural y social. La base de datos de desarrollo de energía geotérmica se puede utilizar para la búsqueda y actualización de la información necesaria sobre el desarrollo de energía geotérmica en el Perú. La base de datos se espera que ayude a acelerar el desarrollo de energía geotérmica en el Perú. Es preferible que todas las organizaciones peruanas relacionadas coordinen su participación en la gestión y actualización de la base de datos con el fin de la utilización eficaz de esta. (Minas, 2012)

**El informe se resalta por el análisis técnico, económico y energético para el desarrollo geotérmico en el Perú.**

- United Nations World Water Assessment Programme (WWAP, 2014), en el informe **“DESARROLLO GEOTERMICO EN PERÚ OPORTUNIDADES, CONCEPTOS , ACCIONES , RESULTADOS Y RECOMENDACIONES”** Las altas tasas de crecimiento económico, la estabilidad macroeconómica, la apertura comercial y la liberalización financiera son algunos de los elementos conductores del notable crecimiento del Perú. Con el crecimiento económico la demanda energética también incrementó, planteando desafíos significativos para el sistema nacional de generación de energía. Con un potencial estimado en cerca de 3.000 Mwe. (Battocletti et al., 1999, MEM-JICA, 2012), la energía geotérmica puede contribuir a satisfacer la demanda de energía. El carácter autóctono, limpio y renovable, así como los múltiples usos de los recursos geotérmicos, pueden tener un impacto positivo sobre el



desarrollo ambiental y socio-económico del Perú. El potencial geotérmico del Perú, la disposición política y el marco regulatorio han atraído iniciativas públicas y privadas. En años recientes las instituciones del Gobierno Peruano, agencias internacionales de desarrollo e intereses privados han actuado de manera activa en diagnosticar, proponer e implementar actividades dirigidas a la realización de una industria geotérmica en el País. Sin embargo, a pesar de todo el potencial y el interés, el Perú aún no ha generado un sólo watt de energía eléctrica con fuentes geotérmicas. Este documento presenta algunos de los aspectos y acciones que han moldeado el actual desarrollo geotérmico en Perú, y también ofrece algunas ideas para mejorar las condiciones para las iniciativas geotérmicas en curso. (WWAP, 2014)

**El informe en mención se orienta en el desarrollo geotérmico a través de análisis de datos, acciones y resultados en el Perú.**

## 2.2 Bases Teóricas

a) **Según** (Lazaro Lozano, 2009); Antes de proceder a la elección del tipo de intercambiador subterráneo y a su dimensionamiento, se debe proceder a concebir el sistema geotérmico completo, pues las especificaciones y dimensiones del conjunto dependen de una serie de decisiones previas. La secuencia típica de decisiones sería:

1. Se elige el equipamiento que responderá a la demanda energética del edificio, utilizando una estimación preliminar de la temperatura de entrada del agua para establecer las potencias y rendimientos de calefacción de la bomba de calor. (Lazaro Lozano, 2009)

2. Se efectúa la selección preliminar del tipo de intercambiador de calor subterráneo. (Lazaro Lozano, 2009)

3. Se procede al diseño preliminar del intercambiador subterráneo. (Lazaro Lozano, 2009)

4. Se determina la resistencia térmica del suelo. (Lazaro Lozano, 2009)

5. Se establece la longitud que ha de tener el bucle subterráneo y se recalculan las temperaturas del agua a la entrada y a la salida en función de las cargas del sistema y del bucle subterráneo diseñado. (Lazaro Lozano, 2009)

6. Se analiza el coste global del sistema concebido durante su ciclo de vida y se compara con otras opciones. (Lazaro Lozano, 2009)

b) **Según** (Vielma Sossa, 2013), Se desarrollan dos diseños de sistemas geotérmicos de baja entalpía identificando tres grandes áreas de diseño: El sistema de intercambio de calor geotérmico, la bomba de calor y el sistema de distribución dentro del hogar. La bomba de calor es fundamental para el desarrollo del sistema, ya que, constituye la mayor ganancia de calor con un Coeficiente de desempeño (COP) cercano a 4. Se destaca que los sistemas de distribución estudiados son los radiadores convencionales y los basados en Fan Coils, identificando estos últimos con un mejor desempeño, también un menor

número de terminales haciéndolo viable constructivamente. (Vielma Sossa , 2013)

- c) La energía geotérmica constituye una fuente inagotable de energía que puede ser extraída de la tierra por medio del bombeo de fluidos calentados en su interior, aprovechando su gran inercia térmica. Este intercambio de calor se realiza para proyectos geotérmicos de baja entalpía en pozos de energía o bien por medio del uso de aguas subterráneas. (Vielma Sossa , 2013)

### **2.3 Marco Conceptual**

En esta sección se pretende investigar y estudiar conceptos básicos de los diferentes factores que se involucran en el aprovechamiento de las energías geotérmica, para mantener las condiciones de confort, mediante la elaboración de un sistema geotérmico de baja entalpía, el funcionamiento de sus componentes, obteniendo así una fundamentación teórica elemental necesaria para el diseño que proponemos realizar, lo cual ayudará en lo posterior para su respectiva instalación. (Angulo, 2001)

El objetivo de este diseño es valorar la posibilidad de cambiar el Sistema Convencional por el Sistema Geotérmico, diseñar los aparatos anteriormente instalados, produciendo así una mejora tanto económica como medioambiental.

Se calcularán parámetros fundamentales para el diseño, como la longitud de las tuberías necesarias, dimensionamiento de equipos eléctricos y mecánicos para el sistema, selección de bombas de calor y demás elementos imprescindibles para un correcto diseño del Sistema Geotérmico de baja entalpía.

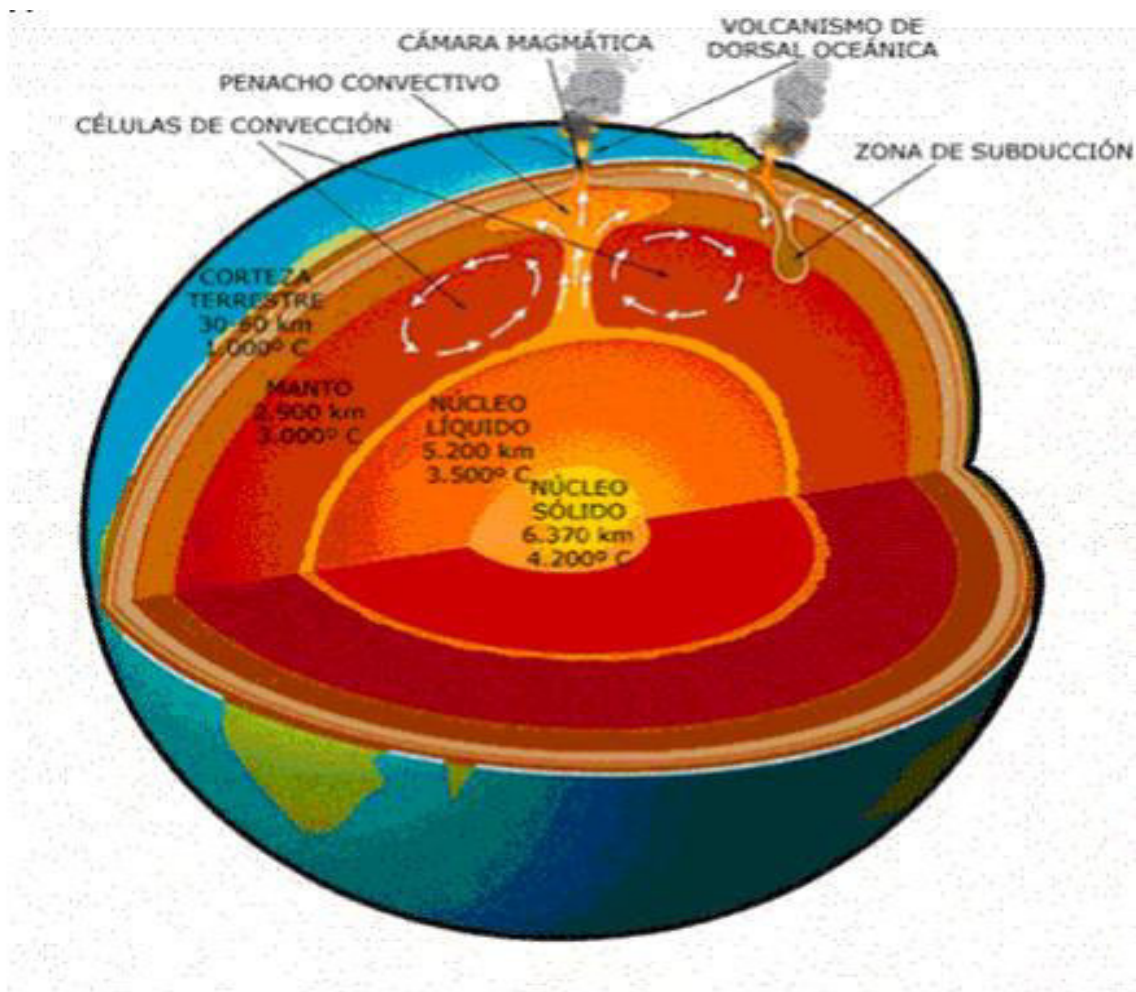
La simulación del diseño tendrá como fin el comprobar el intercambio de calor con la tierra a través de parámetros como: sondas geotérmicas verticales, temperaturas promedias del terreno, etc. Este diseño tiene un beneficio medioambiental grande, aunque no sea tangible ni aporte beneficios económico, es una gran alternativa a los grandes problemas de contaminación y al cambio climático que se están produciendo actualmente.

## 2.4 Definiciones de térmicos básico u otros contenidos

### 2.4.1 Geotermia

Geotermia, es una palabra de origen griego que se deriva de “geos” que quiere decir tierra, y de “THERMOS” que significa calor: el calor de la Tierra. Se emplea indistintamente para designar tanto a la ciencia que estudia los fenómenos térmicos internos del planeta como al conjunto de procesos industriales que intentan explotar ese calor para producir energía eléctrica y/o calor útil al ser humano. (De Andres del Barrio, 2014)

#### Ilustración 2. 1 ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA



Fuente: Ilustración de Site Geothermie – Perspectives de BRGM.

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

- El **núcleo**, sólido en su parte interna y líquido en su parte exterior. Su temperatura puede alcanzar los 4.200 °C. (Angulo, 2001)
- El **manto** que lo envuelve, con temperaturas que van desde los 3.000 °C a 1.000 °C. De textura plástica hacia el centro, se vuelve sólido hacia la superficie. (Angulo, 2001)
- La **corteza**, que corresponde a la envoltura superficial. Su temperatura varía desde los 1.000 °C en su contacto con el manto, hasta los 15 – 20 °C de la superficie terrestre. Su espesor varía desde 5 a 20 km en las profundidades oceánicas, y desde 30 a 70 km bajo los continentes. Con la parte sólida del manto constituye la litosfera, fragmentada en varias placas litosféricas que se desplazan lentamente, unas con relación a otras, pudiendo dar lugar a importantes anomalías térmicas en sus bordes. El resultado de esta estructura interna es que el 99% de la masa de la Tierra está sometida a una temperatura superior a los 1.000 °C, y únicamente un 0,1% de la misma soporta temperaturas inferiores a los 100 °C. (Angulo, 2001)

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

- **Desintegración de isótopos radiactivos** presentes en la corteza y en el manto, principalmente, uranio 235, uranio 238, torio 232 y potasio 40. (Angulo, 2001)
- **Calor inicial** que se liberó durante la formación del planeta hace 4.500 millones de años, y que todavía está llegando a la superficie. (Angulo, 2001)
- **Movimientos diferenciales** entre las diferentes capas que constituyen la Tierra, principalmente entre manto y núcleo. (Angulo, 2001)
- **Cristalización del núcleo.** El núcleo externo (líquido) está cristalizando continuamente, y en la zona de transición con el núcleo interno (sólido) se libera calor. (Angulo, 2001)

Las grandes diferencias de temperatura entre la superficie de la Tierra y las existentes en su interior originan un flujo continuo de calor hacia la superficie, estimándose que la energía que llega cada segundo a la superficie terrestre, en forma de calor, por conducción, convección y radiación, es de  $42 \times 10^{12}$  J. De ese total,  $8 \times 10^{12}$  J provienen de la corteza, la cual representa sólo el 2% del volumen total del planeta,  $32,3 \times 10^{12}$  J provienen del manto, el cual representa el 82% del volumen total, y  $1,7 \times 10^{12}$  J provienen del núcleo, que representa un 16% en volumen y no contiene isótopos radiactivos. (Angulo, 2001)

#### 2.4.2 Descripción de Sistema Geotérmicos de Baja Entalpía

La energía geotérmica superficial utiliza el calor en los estratos superiores de la Tierra (hasta 400 metros) y del agua subterránea. Esta energía se basa en el calor irradiado por el sol y el flujo de calor desde el interior de la Tierra a la superficie. Es conveniente para la calefacción o refrigeración de edificios y para calentar el agua. A profundidades de alrededor de 20 metros, y dependiendo de las condiciones geológicas hasta un máximo de 40 m, las temperaturas en los estratos superiores de la Tierra están sujetas a las fluctuaciones estacionales. A profundidades cercanas a los 20 m, un equilibrio prevalece

entre el exterior y la temperatura interior de la Tierra. En este nivel, las fluctuaciones climáticas ya no se ven, y la temperatura es de aproximadamente la temperatura media anual en el lugar (Angulo, 2001)

En la Ilustración 2.2 se muestran las aplicaciones más importantes de la energía geotérmica con los rangos de temperatura de utilización, y en su parte inferior se establece una agrupación de la energía geotérmica, entre diferentes intervalos de temperatura, en cuatro grandes tipos: muy baja, baja, media y alta temperatura. . (Llopis Trillo & Rodrigo Angulo, 2008)

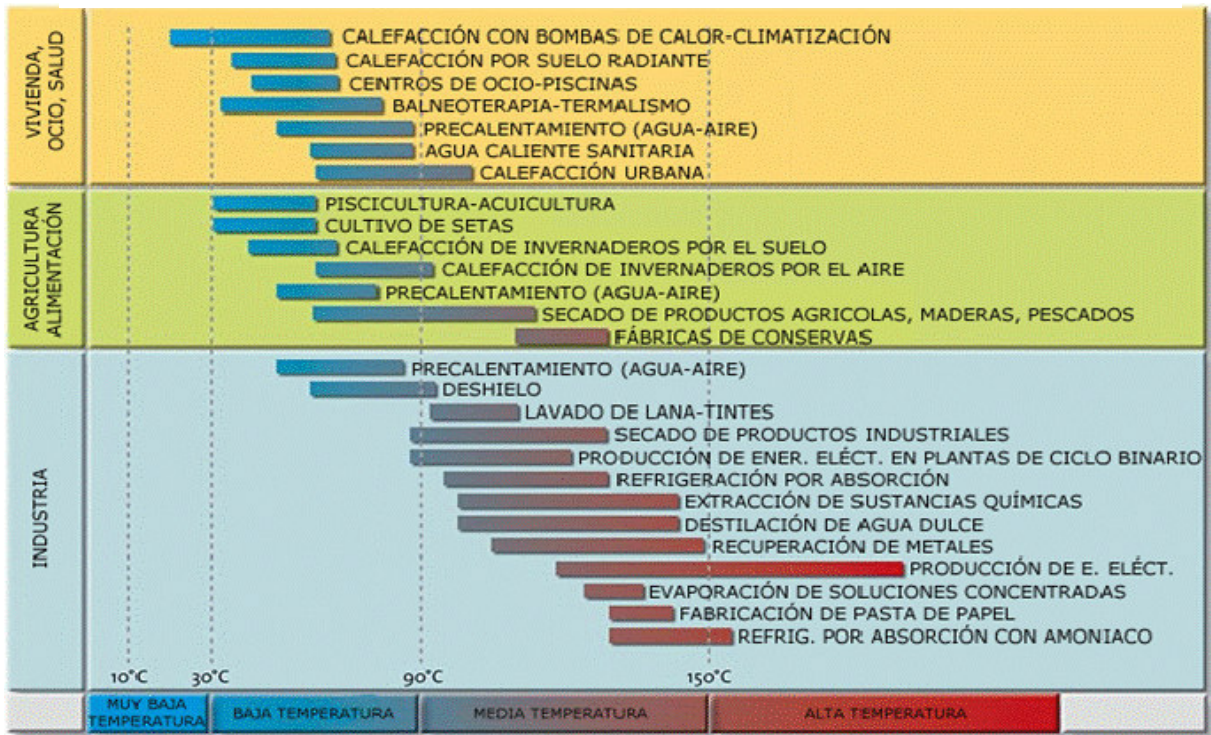
Diferentes autores establecen límites de temperatura distintos para estos intervalos. La división que aparece en la tabla es la que establece el “Código Minero” en Francia, y se puede aplicar tanto a la energía geotérmica, como a las explotaciones, los yacimientos y los recursos geotérmicos. . (Llopis Trillo & Rodrigo Angulo, 2008)

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

- **Alta temperatura:** más de 150°C Una temperatura superior a 150 °C permite transformar directamente el vapor de agua en energía eléctrica.
- **Media temperatura:** entre 90 y 150 °C: Permite producir energía eléctrica utilizando un fluido de intercambio, que es el que alimenta a las centrales.
- **Baja temperatura:** entre 30 y 90 °C: Su contenido en calor es insuficiente para producir energía eléctrica, pero es adecuado para calefacción de edificios y en determinados procesos industriales y agrícolas.

- **Muy baja temperatura:** menos de 30 °C: Puede ser utilizada para calefacción y climatización, necesitando emplear bombas de calor . . (Llopis Trillo & Rodrigo Angulo, 2008).

### Ilustración 2.2 USOS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA SEGÚN TEMPERATURAS



Fuente: Guía de la Energía Geotérmica , 2008



## 2.4.3 Usos de la Energía Geotérmica

### 2.4.3.1 Vivienda Ocio y Salud

- **Calefacción con bombas de calor geotérmica.** En Estados Unidos, la mayor parte de las bombas de calor geotérmicas para climatización de viviendas están dimensionadas para cubrir cargas pico de refrigeración, y se encuentran sobredimensionadas para calefacción salvo en los estados del norte, por lo que el valor medio estimado de horas de operación al año es de sólo 2.000 (factor de capacidad = 0,23). Por el contrario, en Europa la mayoría de las bombas de calor geotérmicas están dimensionadas para proporcionar la carga base de calefacción, mientras que los picos se cubren con combustibles fósiles. De ahí que sus horas/año de operación superen con frecuencia las 6.000 a plena carga (factor de capacidad de 0,68), tal como ocurre en los países nórdicos. No obstante, salvo que se conozca el valor exacto, el dato que suele emplearse como referencia para calcular la energía utilizada es de 2.200 horas, excepto en el ya mencionado caso de los países nórdicos. (Angulo, 2008)
- **Calefacción con bomba de calor geotérmica en suelo radiante.** La combinación de suelo radiante y de una bomba de calor geotérmica produce una climatización de gran confort, limpia, invisible, sin necesidad de almacenar combustibles y sin olores. La misma instalación produce calefacción en invierno y refrigeración en verano. La economía de funcionamiento, sencillez de uso, y amplias posibilidades de regulación y control lo convierten en un sistema idóneo para cualquier vivienda o construcción individual. Con la misma instalación se dispone también de agua caliente sanitaria además de refrigeración, al tratarse de un sistema reversible. Es posible, además, utilizar la bomba de calor para calentar el agua de la piscina. (Guzman, 2011)

- **Calefacción de recintos.** La capacidad instalada y la energía utilizada para este tipo de aplicación en 2015 ascienden, respectivamente, a 5.391 MWt y 62.984 TJ/año, cifras que representan sendos incrementos del 24% y del 14% respecto al año 2005. Según se indicó anteriormente, el 85% de la capacidad instalada y el 84% de la energía utilizada corresponden a sistemas de calefacción centralizada (district heating). Los países líderes en la utilización de estos últimos son Islandia, China, Turquía, Francia y Rusia, mientras que entre los mayores usuarios de los sistemas individuales figuran Turquía, Italia, Estados Unidos, Japón y Georgia. (Guzman, 2011).

#### **2.4.4 Circuito de Intercambio de Calor con la Tierra**

El estudio contempla el desarrollo de dos diseños distintos de utilización del recurso geotérmico: El aprovechamiento de las aguas subterráneas en pozos verticales y el aprovechamiento del suelo por medio del intercambio de calor a través de pozos o *boreholes* de circuito vertical en forma de U, que son detallados a continuación. (Angulo, 2001)

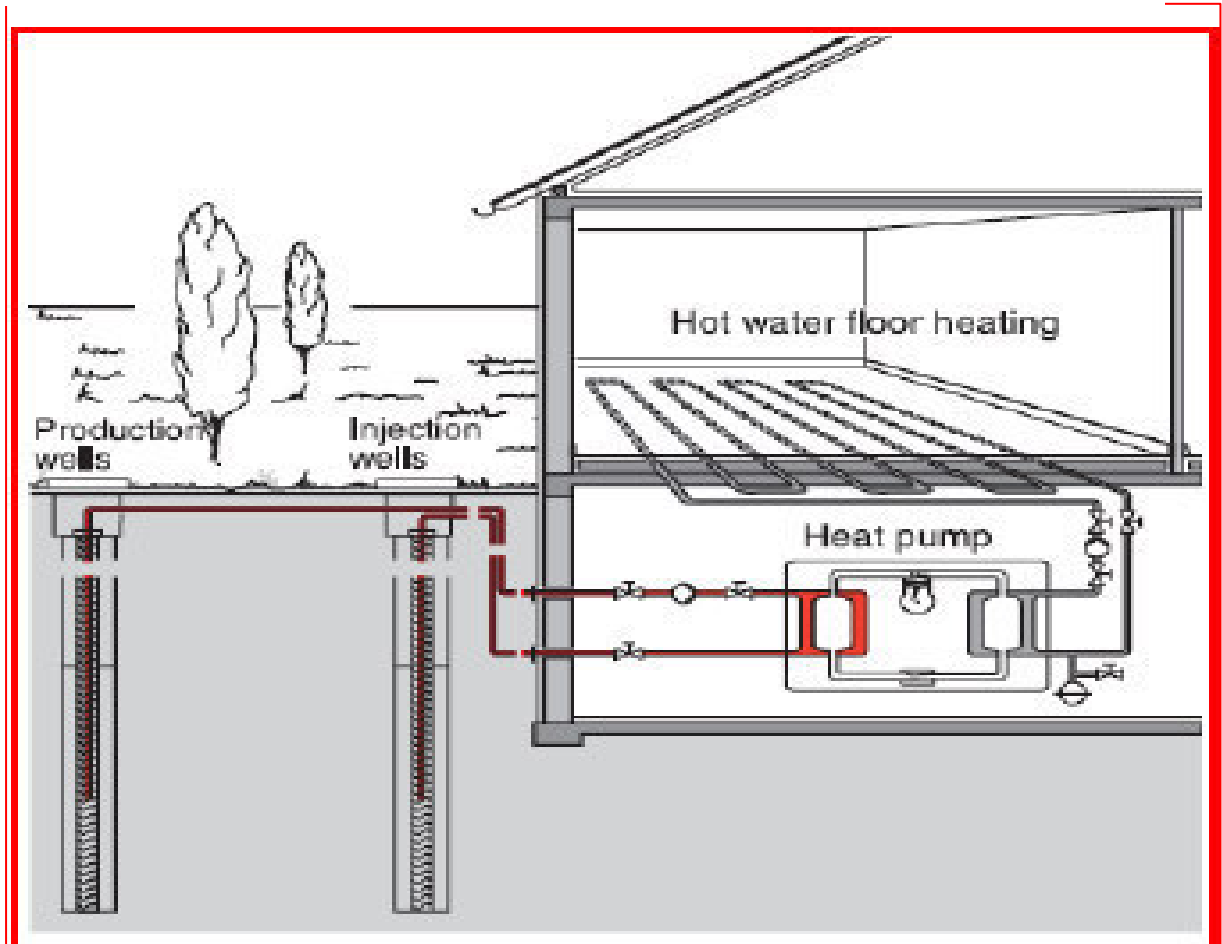
##### **2.4.4.1 Sistema Geotérmico de Baja Entalpía de Circuito Abierto con Uso de Aguas Subterráneas**

Los sistemas geotérmicos de baja entalpía de circuito o lazo abierto con uso de aguas subterráneas son los más antiguos y bien establecidos de los sistemas de bomba de calor geotérmica . Constituyen cerca del 15% del total de instalaciones de baja entalpía en Estados Unidos (Lund, 2004), y han sido objeto de diversos estudios técnicos internacionales y publicaciones científicas como también de múltiples manuales y recomendaciones de diseño (Vielma Sossa , 2013)

El sistema que se estudia en esta sección es el de uso indirecto de aguas subterráneas como se ve representado en la Figura N°3. Los sistemas abiertos indirectos emplean un intercambiador de calor entre el bucle

edificio y el agua subterránea. Se emplea el agua subterránea como reservorio térmico que circula a través de tuberías desde el pozo de producción. Luego hace el intercambio térmico con la bomba de calor, para después ser vertida al pozo de inyección. (Vielma Sossa , 2013)

**Ilustración 2. 3 POZO DE SISTEMA ABIERTO**



Fuente: Diseño e Integración de Energía Geotérmica de Baja Entalpía (2013)

### III. HIPOTESIS Y VARIABLES

#### 3.1 Hipótesis (General y específicas, de ser el caso)

##### 3.1.1 Hipótesis General

El diseñar un sistema geotérmico de baja entalpía de 1613.36 MWh permitirá mantener las condiciones de confort en el Hotel Casa Andina Select en Moquegua.

##### 3.1.2 Hipótesis Específicas

- Si realizamos el estudio geotécnico local podremos conocer el potencial geotérmico.
- Si diseñamos el intercambiador geotérmico se logrará cumplir con la carga térmica que posee el Hotel Casa Andina Select en Moquegua.
- Si seleccionamos los componentes mecánicos y eléctricos lograremos realizar la distribución del sistema de climatización del Hotel Casa Andina Select.
- El simular mediante el programa EWS nos permitirá comprobar las condiciones de operación del sistema Geotérmica Propuesto.

#### 3.2 Definición conceptual de variables

##### 3.2.1 Variable Dependiente

- **SISTEMA GEOTÉRMICO VERTICAL DE BAJA ENTALPIA:** Es el aprovechamiento de la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie de la tierra , esta energía se puede aprovecharse para climatizar ambientes durante todo el año. (Angulo, 2001)
- ¿Cómo diseñar el intercambiador geotérmico para cumplir con la carga térmica en el Hotel Casa Andina Select en Moquegua?

### 3.2.2 Variable Independiente

- **CONDICIONES DE CONFORT:** Se define como una sensación neutral de las personas respecto a un ambiente térmico determinado según la norma ISO 7730 el confort térmico “Es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el medio ambiente térmico “. (Vidagany Iborra, 2018)

### 3.3 Operacionalización de variable (Dimensiones, indicadores, índices, métodos y técnica)

Tabla 3. 1 Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES
<b>DISEÑO DE UN SISTEMA GEOTÉRMICO DE BAJA ENTALPIA</b>	Parámetros Básicos	Demanda de energía eléctrica Disposición de los intercambiadores de calor con el terreno Propiedades térmicas del terreno. sondeos y perforaciones
	Bomba de Calor Compresor Intercambiadores Filtro deshidratador Válvula de 4 vías Válvula de expansión	Sensores de temperatura (interior/externo) Terminal de control. Diferencial general 30 mA Termostato
<b>MANTENER LAS CONDICIONES DE CONFORT</b>	Temperatura Temperatura media radiante Humedad Velocidad del aire la actividad del trabajo	Conductividad térmica w/m k° Capacidad calorífica específica j/kg k° Densidad kg/m3 Viscosidad dinámica kg/ms

Fuente: Elaborado en base a los datos de la investigación realizada.

## IV. DISEÑO METODOLÓGICO

### 4.1 Tipo y Diseño de la Investigación

La investigación tecnológica tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que beneficien a la sociedad. Sus niveles son la experimentación y la aplicación. (Espinoza, 2014)

Según, el presente trabajo es de tipo Investigación **TECNOLÓGICA**, aprovecha del conocimiento teórico científico producto de la investigación básica o sustantiva, y organiza reglas técnicas cuya aplicación posibilita cambios en la realidad. La investigación tecnológica responde a las interrogantes: ¿Cómo modificar X?, ¿A través de que técnica podemos modificar X?, todas las investigaciones tecnológicas son aplicadas, pero no todas las investigaciones aplicadas son necesariamente tecnológicas. De lo citado el trabajo es de tipo investigación tecnológicamente por que aplica la elaboración un sistema geotérmico de baja entalpia para mantener las condiciones de confort, en la cual usamos las cargas térmicas (energía geotérmica) para calefacción de las viviendas en varios escenarios con confort térmico de 19° C, para luego, por medio de una bomba de intercambiador de calor y un software como el “Programm EWS” ayuden a realizar y a calcular las temperaturas de flujo y retorno, así como el rendimiento de las sondas geotérmicas que conforman el sistema geotérmico de baja entalpía para mantener las condiciones de confort en el hotel casa andina selecto, las modelaciones de los distintos sistemas dimensionándolo y realizando en él un análisis económico (ahorro en el gasto de la demanda eléctrica) comparativo con sistemas de calefacción convencionales. (Espinoza, 2014)

El diseño de la investigación que utilizamos es **DESCRIPTIVO COMPARATIVO** porque se realizará una comparación del Uso de Energía Eléctrica con la Energía Geotérmica, a través del cual obtendremos un diagnóstico descriptivo comparativo con caracterizaciones sobre la base de varios factores. (Espinoza, 2014)

Diagrama:

M1  $\longrightarrow$   $O_1$

$O_1 \approx O_2 \approx O_3$

M2  $\longrightarrow$   $O_2$

$O_1 = O_2 = O_3$

M3  $\longrightarrow$   $O_3$

$O_1 \neq O_2 \neq O_3$

Mn  $\longrightarrow$   $O_n$

Donde:

Mn: SISTEMA GEOTÉRMICO VERTICAL DE BAJA ENTALPÍA

$O_n$  : CONDICIONES DE CONFORT

Comparación entre cada una de las muestras, pudiendo ser:

- Semejantes ( $\approx$ )
- Iguales (=)
- Diferentes ( $\neq$ )



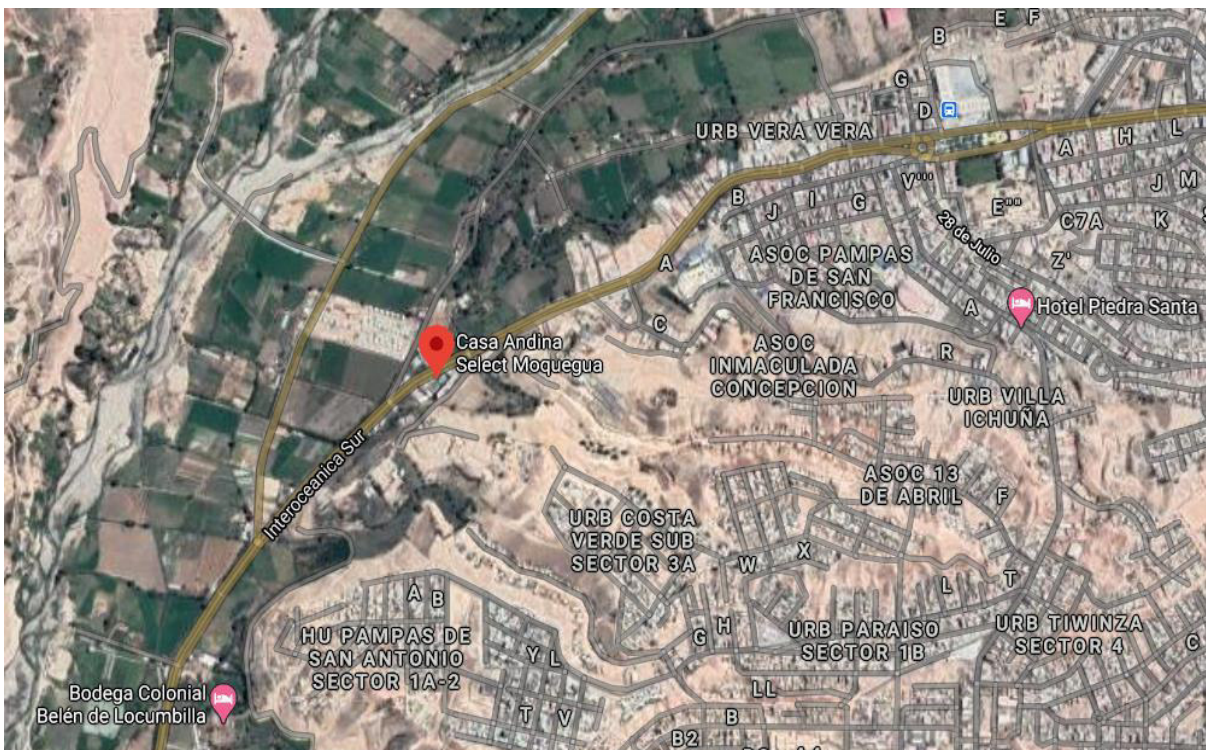
#### 4.1.1 Temperatura de la Tierra en Moquegua

Para identificar la temperatura que posee la tierra de Moquegua, se utilizó el programa REST SCREEM, el cual es una herramienta soporte que nos ayuda a tomar decisiones que permiten a los interesados rápidamente lograr identificar, evaluar y optimizar el desempeño de inversiones de energía limpia.

La presente Tesis de grado, tiene como objeto de estudio el Hotel Casa Andina Select, el cual se encuentra en Prolongación Manuel C. de la Torre Ugarte S / N, Provincia de Moquegua, Departamento de Moquegua en las coordenadas: - 17.196517915124986 E, -70.96018290927721 S.

La ubicación se muestra en la siguiente figura:

**Ilustración 4. 1 Hotel Casa Andina Select - Lugar de Estudio**



Fuente: Google Maps - (<https://goo.gl/maps/BsYcPzKXrM2G1Ju47>)

#### 4.1.2 Evaluación del Potencial Geotérmico en la Localidad de Moquegua

A fin de poder realizar el objetivo planteado, se procedió con la ubicación de los lugares con presencia de energía geotermal, a evaluar el potencial geotérmico que posee actualmente el Departamento de Moquegua, de la siguiente manera:

El método estima el contenido térmico (capacidad térmica en las rocas y agua en un volumen considerado) de un reservorio geotérmico. Este asume extracción de fase líquida del reservorio y un factor relativo al grado extraíble de energía térmica de las rocas y el agua (factor de recuperación). El resultado del cálculo se define como el recurso extraíble en la superficie. Dicha energía recuperable en superficie es la que se dispone a ser convertida en energía eléctrica, usando las tecnologías comerciales existentes o usando nuevos desarrollos tecnológicos más eficientes. Para este proceso se tiene un factor de conversión (eficiencia). Cuando se conoce y especifica la vida útil de las instalaciones de conversión de energía, la energía que puede ser convertida se calcula con el siguiente modelo matemático en MWe. **(GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)**

$$\text{Capacidad Potencia (MW)} = (T_r T_a) \times \frac{((1 - \phi) C p_r \times p_r \times \phi \times C p_w \times p_w) \times V \times R F \times C E}{P L \times L F}$$

Donde:

$p_r$ ;  $p_w$  : *Densidad de las Rocas y Densidad de los fluidos*  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$C p_r$  : *Calor Especificos de las rocas*  $\left(\frac{kJ}{kg - ^\circ C}\right)$

$C p_w$  : *Calor Especifico de los fluidos geotérmicos*  $\left(\frac{kJ}{kg - ^\circ C}\right)$

$T_r$  : *Temperatura promedio del reservorio* ( $^\circ C$ )

$\phi$  : *Porosidad* (%)

***V : Volumen del reservorio ( $km^3$ )***

***RF : Factor de recuperación (%)***

***CE : Eficiencia de conversión de Calor a Electricidad (%)***

***PL : Vida esperada del Proyecto (años)***

***LF : Factor de carga (%)***

El total del potencial geotérmico de las zonas geotermales promisorias de la Región Moquegua se estima cerca de 240 MWe, pero la zona donde se encuentra el Hotel Casa Andina Select, se estima un potencial de 215 MWe. **(INGEMMET, 2014)**

El mapa geotérmico para la región de Moquegua se ha elaborado en base a las diversas informaciones existentes de estudios anteriores y trabajos de exploración geoquímica y geológica realizadas en el año 2010. El mapa geotérmico muestra la potencia geotérmica de la región. **(Ver ANEXO N°02).**

#### **4.1.3 Coeficiente de Rendimiento**

El coeficiente de rendimiento (COP, por sus siglas en inglés) se refiere a la razón obtenida entre el calentamiento que proporciona una bomba de calor ( $Q_{total}$ ) y la electricidad consumida para generarlo ( $W_{total}$ ), energía que en gran parte es utilizada por el compresor de la bomba (Ecuación). El COP depende directamente de la diferencia entre las temperaturas entre la fuente de calor y el área a calentar. En una bomba de calor el COP es mayor a 1, ya que, básicamente se está utilizando energía para “mover” el calor desde un lugar (tierra) hacia otro (recinto). Por ejemplo, una bomba de calor funcionando bajo un COP teórico de 4 genera 4 unidades de calor ( $Q_{total}$ ) por cada 1 unidad de energía eléctrica suministrada. La fuente pierde, entonces 3 unidades de calor. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

En términos de eficiencia y temperaturas, el COP se calcula usando la eficiencia de Carnot ( $\epsilon_c$ ) y un factor de aproximación ( $\alpha$ ) que es un parámetro de operación de la bomba. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

$$COP = \frac{Q_{total}}{W_{total}}$$

$$Q_{total} = Q_{suelo} + W_{total}$$

$$COP = \alpha \epsilon_c$$

$$\epsilon_c = \frac{T_{hot}}{T_{hot} - T_{cold}}$$

La eficiencia de Carnot es función de las temperaturas absolutas de punto caliente (lugar a calentar,  $T_{hot}$ ) y punto frío (fuente de calor,  $T_{cold}$ ). La temperatura de punto caliente corresponde a la del condensador de la bomba de calor y la temperatura de punto frío es la del evaporador de la bomba de calor. Mientras menor sea esta diferencia de temperaturas, la eficiencia será mayor, tendiendo a infinito cuando el  $\Delta T^\circ$  tiende a cero. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

#### 4.1.4 Propiedades térmicas del Terreno

##### 4.1.4.1 Conductividad, Capacidad Térmica y Difusividad

La conductividad, Capacidad térmica y difusividad son propiedades características de cada material. Para los materiales usuales en el terreno existen estudios que demuestran que la conductividad térmica aumenta normalmente con el grado de humedad del mismo hasta alcanzar los valores de conductividad correspondientes a un terreno saturado, si bien no es fácil establecer la dependencia entre ambos factores con carácter general. Algunos de los valores más usuales de acuerdo al tipo de terreno se obtienen. **(Ver Anexo N°04)**. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

#### **4.1.5 Reconocimiento del Sistema de Climatización existente en el Hotel**

El sistema de climatización del Hotel Casa Andina se clasifica en 02 tipos importantes, que se detallan a continuación:

- Calefacción
- Refrigeración

Por lo tanto, el sistema de climatización que se diseñará será capaz de abastecer la demanda de energía que se produce en el recinto tanto en verano como en invierno. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

#### **4.1.6 Diseño del Intercambiador Geotérmico**

En el diseño de los intercambiadores de calor enterrados intervienen múltiples factores que hacen factibles distintas variantes de diseño para un mismo sistema. El procedimiento de diseño a seguir es el que se desarrolla en la Guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica (Instituto para la diversificación y el Ahorro de la Energía, IDAE). En este proyecto se desarrolla la metodología de diseño de la International Ground Surface Heat Pump Association (IGSHPA). (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

La metodología aplicada está basada en la teoría de la fuente de calor de línea infinita (Kelvin Line Source Theory) desarrollada por Ingersoll y Plass. Establece que un intercambiador de calor que cede calor al suelo se comporta como una fuente de calor con un espesor pequeño y longitud infinita, y por tanto solo cede calor en sentido radial. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

Se trata de un método de cálculo que asume que el sistema funciona durante un tiempo determinado a una carga constante y con el suelo a la temperatura más desfavorable. Esto es, que se diseñará para la temperatura más desfavorable en el mes de junio para calefacción. Durante el resto del año, la temperatura es más moderada y por tanto la carga calorífica es menor, haciendo que el sistema funcione con un rendimiento mayor. Además, el suelo no estará tan frío (en invierno), lo que hará que la temperatura del agua sea

más moderada y el sistema funcionará con un mayor rendimiento. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

- **En primer lugar**, Se selecciona la bomba de calor que satisfaga las especificaciones térmicas del recinto a acondicionar, en función de las cargas térmicas que en este caso se toma de un estudio ya realizado. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)
- **En segundo lugar**, es importante decidir el fluido circulante por el intercambiador de calor enterrado. Normalmente se trata de agua o agua con anticongelante, en el caso de previsión de riesgo de congelación. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

Tras esto, es necesario escoger la configuración a emplear. Las más comunes son horizontal, vertical o Slinky, y dentro de ellas son tubos simples dobles, coaxiales, etcétera. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

Una vez conocida la disposición a implantar se selecciona los tubos. Para ello se determinará el material del que están contruidos, su diámetro, y las temperaturas entre las que tiene que trabajar. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

Por último, se dimensiona el intercambiador de calor enterrado en forma de sondas atendiendo a todos los criterios anteriormente determinados, finalizando con la elección del sistema, entre los fabricantes disponibles, que más se ajuste a las necesidades del Hotel Casa Andina Select. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

#### **4.1.6.1 Bomba de Calor Geotérmica**

Las especificaciones de la bomba de calor fijan varios parámetros de diseño del intercambiador de calor enterrado, ya que nos determinan el calor intercambiado con el suelo y el caudal circulante por el intercambiador de calor, además de fijar el rendimiento del sistema (Coefficient of Performance COP) de acuerdo con sus curvas

características de potencia-temperatura. (Ver ANEXO N°09). (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

#### 4.1.6.2 Selección de Bomba de Calor

Los datos de la partida para la selección de la bomba de calor geotérmica son las cargas térmicas de calefacción que se toma de un estudio ya realizado de acuerdo a las exigencias de diseño (Anexo N°09), y la potencia teórica de la bomba para cubrir la climatización vendrá dada por la mayor de las demandas, dado que la potencia instalada deberá cubrir las necesidades. Por tanto, ésta vendrá dada por la previsión de demanda. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

Se desea encontrar una bomba de calor agua-agua que pueda trabajar en modo calefacción. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

#### 4.1.6.3 Rendimiento de la Bomba de Calor

El rendimiento de la bomba geotérmica se define como lo que se quiere obtener dividido entre lo que se tiene que entregar a cambio para conseguirlo. De este modo, se definen los siguientes parámetros de operación que caracterizan a las mismas; el primero es el coeficiente de operación o rendimiento (COP) que caracteriza a la bomba cuando trabaja en modo de calentamiento. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

En este caso interesa cuánto calor se transmite al local en relación al trabajo que eso cuesta:

$$COP = \frac{Q}{W} = \frac{T_c}{(T_c - T_f)}$$

Como se puede observar, el rendimiento de la máquina sube cuanto más pequeño sea  $(T_c - T_e)$ , es decir, cuanto más alta sea la temperatura del terreno y cuanto más baja sea la temperatura que se quiere mantener en el ambiente a calentar. El COP de una bomba de calor es mayor que la unidad. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

En este caso, se utiliza de la siguiente manera:

$$COP = \frac{Q}{W}$$

Donde:

- *Q: Calor*
- *W : Trabajo*

#### **4.1.6.4 Elección del Fluido Circulante**

El fluido circulante por el intercambiador de calor enterrado es agua o agua con anticongelante, si se prevé en diseño que el intercambiador geotérmico puede tener riesgo de congelación (elevado funcionamiento en calefacción, temperaturas frías de terreno, etc.). (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

La elección del fluido dependerá de distintos factores:

- Características de transferencia de calor (conductividad térmica y viscosidad)
- Punto de congelación
- Requerimientos de presión y caídas de presión por rozamiento
- Corrosividad, toxicidad e inflamabilidad
- Coste

A través del **Anexo N°12**, se va a elegir al fluido más óptimo para el diseño. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

#### **4.1.6.5 Elección de la Configuración**

Se diseñó un sistema de intercambio de calor con el suelo mediante una configuración de tubos en vertical, se ha optado por esta opción



ya que es más viable por el tipo de suelo que se posee actualmente en el Hotel Casa Andina Select.

Para configuración del tipo vertical es necesario conocer lo siguiente: consisten en dos tubos, generalmente de polietileno, unidos en sus extremos inferiores por una pieza en U del mismo material, o por cuatro tubos, unidos de dos en dos, por sendas piezas en U, constituyendo sondas geotérmicas simples o dobles, que se alojan en el interior de sondeos verticales, de alrededor de 150 mm de diámetro. (Lopez Jimeno, 2009)

La profundidad de los sondeos suele variar entre 45 y 150 m. Gracias a esta profundidad se permite que el suelo donde se encontraran las sondas geotérmicas pueda ser aprovechadas. Además, cabe mencionar que la dispersión del flujo geotérmico no se da en dirección vertical, sino en dirección horizontal, por lo que no se satura el terreno donde se desee implementar el diseño. (Angulo, 2001)



#### 4.1.6.7 Elección de diámetro de la tubería

Para la selección del diámetro de las tuberías se llega a un compromiso entre la caída de presión y el funcionamiento térmico, ya que éste: Debe ser lo suficientemente grande para producir una pérdida de carga pequeña y así necesitar menor potencia de bombeo.

- Debe ser lo suficientemente pequeño para asegurar altas velocidades y así garantizar turbulencia del fluido dentro del tubo, de manera que se favorezca el traspaso térmico entre el fluido que circula y la pared interior. Cuanto mayor sea la turbulencia mayor será el intercambio térmico. La condición que asegura la turbulencia es: (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

$$Re = \frac{4Q}{\pi\vartheta D} > 2300$$

Donde:

$Q$  : Caudal en  $\frac{m^3}{s}$

$\vartheta$  : Viscosidad Cinemática en  $\frac{m^2}{s}$

$D$  : Diametro de los tubos

Por ello, se buscará el fabricante correcto, el cual cumpla con las especificaciones técnicas de la tubería.

#### 4.1.6.8 Dimensionamiento del Intercambiador de Calor Enterrado

El intercambio de calor se ha fijado por la diferencia de temperaturas entre el suelo y el fluido que circule por el intercambiador, por lo tanto, para dimensionar el intercambiador de calor enterrado en primer lugar hay que determinar estas temperaturas. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

#### 4.1.6.9 Temperaturas máximas y mínimas de la tierra

A partir de las ecuaciones siguientes es posible determinar la temperatura máxima (TH) y mínima (TL) que ocurren durante el ciclo anual para cualquier profundidad (Xs). (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

$$T_L = T_M - A_s * e^{(-Xs * \sqrt{\frac{\pi}{365 * \alpha}})}$$

$$T_H = T_M + A_s * e^{(-Xs * \sqrt{\frac{\pi}{365 * \alpha}})}$$

Donde:

*A<sub>s</sub> : Oscilación de la temperatura superficial*

*T<sub>M</sub> : Temperatura media de la tierra, la cual puede asumirse como  
Temperatura seca media*

*T<sub>L</sub> : Temperatura mínima de la tierra*

*T<sub>H</sub> : Temperatura máxima de la tierra*

*Xs : Profundidad*

En nuestro caso, se obtuvo de las mediciones obtenidas a través del programa REST SCREM.

#### 4.1.6.10 Temperatura máximas y mínimas de entrada del fluido a la bomba de calor

Un parámetro clave que se tiene que elegir para el diseño del sistema es la temperatura del fluido que circule por el intercambiador de calor enterrado. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

Debe encontrarse el compromiso óptimo entre dos consideraciones:

- **Cuanto más baja** sea la temperatura en invierno (más alta en verano), mayor será la diferencia con la temperatura del suelo, y

menor tendrá que ser el intercambiador enterrado para el mismo intercambio de calor, por lo que los costes de inversión serán menores. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

- **Cuanto más alta** sea la temperatura en invierno (más baja en verano), mayor será el COP del sistema, por lo que el ahorro energético será mayor. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

Con esas premisas y las curvas de temperatura de la bomba de calor, el diseñador fijará sus temperaturas máximas y mínimas de trabajo (TMAX, TMIN). (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

Las temperaturas máximas y mínimas de la entrada del fluido se encuentran en la característica técnica de la bomba de calor se toma de la bomba ya seleccionada anteriormente. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

#### 4.1.6.11 Resistencia de los tubos al flujo de calor

Se calcula de la siguiente manera, a través de:

$$R_p = \frac{1}{2\pi K_p} * l_n \left( \frac{D_{ext}}{D_{int}} \right)$$

Donde:

- $D_{ext}$  : **Diámetro exterior de los tubos**
- $D_{int}$  : **Diámetro interior de los tubos**
- $K_p$  : **Conductividad térmica del material de los tubos.**

#### 4.1.6.12 Resistencia de la tierra

La resistencia de la tierra ( $R_s$ ) es la inversa de la conductividad térmica del terreno. Conociendo la composición del terreno de la zona se puede determinar su conductividad térmica. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

#### **4.1.6.13 Factor de Utilización**

En el diseño de una instalación de bomba de calor geotérmica hay que tener en cuenta tanto la potencia pico como la demanda energética a proporcionar; podemos distinguir entre los siguientes conceptos:

- Cargas de diseño: son usadas para dimensionar y seleccionar la bomba de calor. Las cargas de diseño están basadas en estándares o condiciones aceptadas para una localización dada en el día más desfavorable de funcionamiento. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)
- Demanda de energía: determina la energía necesaria que debe proporcionar el sistema al edificio durante un periodo determinado (diario, mensual, anual, etc.). (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)
- Demanda del terreno: representa el calor captado por la tierra (en modo calefacción) o disipado por la tierra (en modo refrigeración). (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

#### **4.1.6.14 Procedimiento de cálculo de las cargas de diseño**

El procedimiento de cálculo de cargas para dimensionar un sistema de climatización es perfectamente conocido por los diseñadores y existen varios métodos para ello. Fijando las condiciones interiores y exteriores, hay que determinar el calor que debe aportar el sistema de calefacción para suplir la pérdida de calor del edificio en invierno y calcular la ganancia de calor del edificio en verano que deberá evacuarse mediante el sistema de refrigeración para mantener una temperatura confortable. Sólo se precisa realizar estos cálculos en los meses de enero y julio, ya que son los meses con las condiciones críticas para calefacción y refrigeración. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

#### 4.1.6.15 Longitud del intercambiador enterrado

Una vez calculados todos los parámetros se procede al cálculo de la longitud del intercambiador enterrado para los modos calefacción y refrigeración respectivamente. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

Para invierno, la longitud del intercambiador viene definida por la siguiente expresión:

$$L_{calefacción} = \frac{Q_{calefacción} * \frac{COP-1}{COP} * (R_p + R_s * f_{calefacción})}{TL - TMIN}$$

Donde:

$Q_{calefacción}$  : Potencia térmica de Calefacción

$COP$  : Coeficiente de rendimiento de la bomba

$R_p$  : Resistividad de tubo

$R_s$  : Resistividad de la tierra

$f_{calefacción}$  : Factor de utilización de calefacción

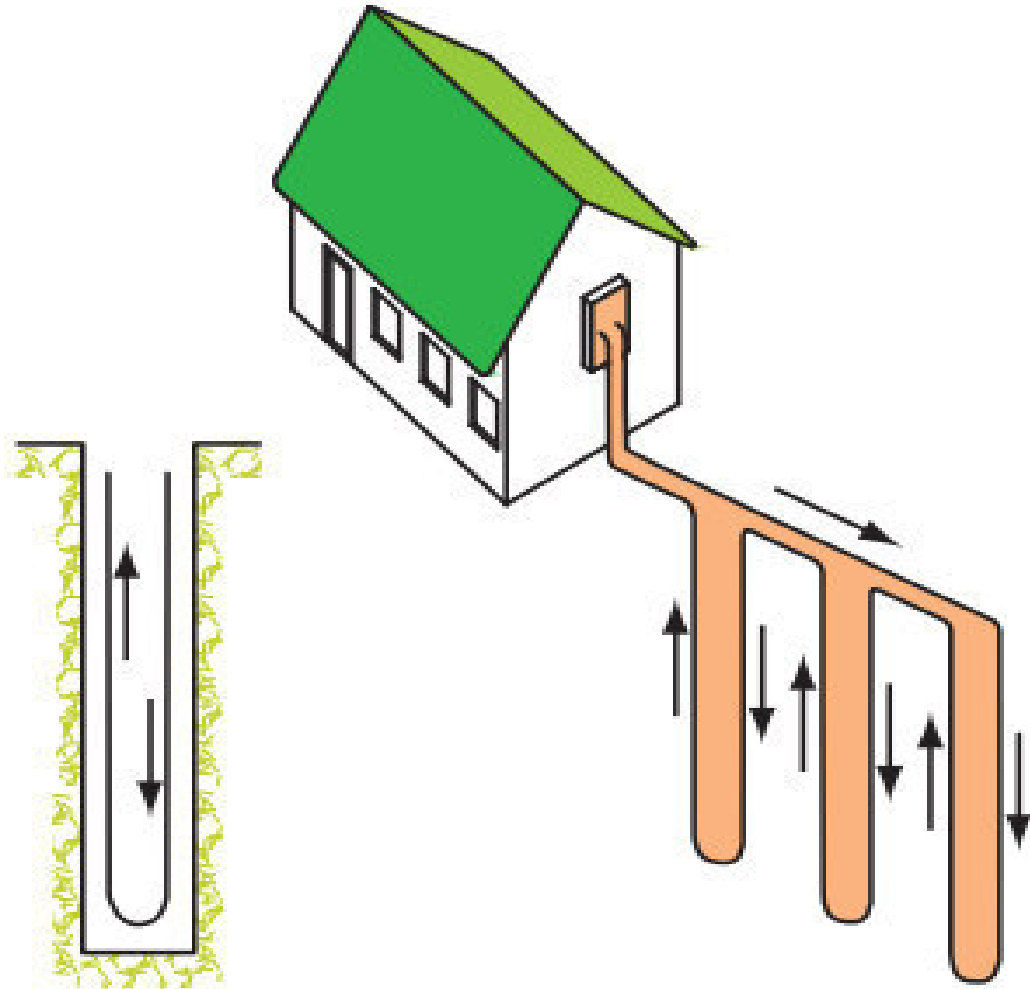
$TL$  : Temperatura mínima de la tierra

$TMIN$  : Temperatura mínima del agua

#### 4.1.6.16 Área del terreno para el Intercambiador Enterrado

Las sondas, deben ser en forma de U, de un material polimérico. Además, cabe destacar que en sistemas compuestos con más de una sonda deber haber una separación mínima entre ellas de al menos 4,5 metros. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

### Ilustración 4. 3 Diseño del Tipo Vertical

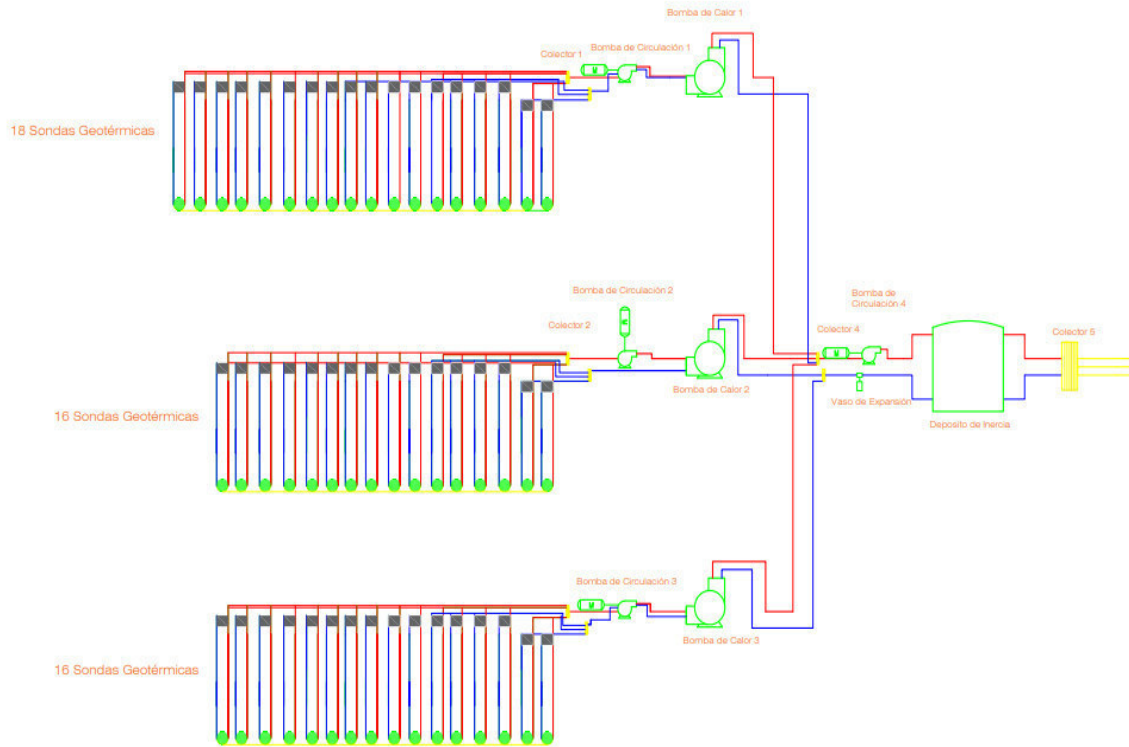


Fuente: Sistema en serie vertical – Guía técnica :Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado

Las sondas geotérmicas serán captadas de manera vertical. A continuación, se muestra el diseño propuesto para la captación de la energía geotérmica en el Hotel Casa Andina Select.



## Ilustración 4. 4 Diseño del Sistema Geotérmico



Fuente: Diseño elaborado en AutoCAD 2020

### 4.1.6.17 Modelación Térmica del suelo alrededor del tubo Colector Enterrado

El programa **EWS**, modela las temperaturas de flujo y retorno, así como el rendimiento de las sondas geotérmicas, se pueden calcular mensualmente durante un período de hasta 200 años. (Energietechnik)

También es posible simular sondas geotérmicas con enfriamiento directo. (Energietechnik)

#### 4.1.7 Distribución de áreas del Hotel Casa Andina Select

La distribución de las áreas se da en la siguiente tabla:

**Tabla 4. 1 DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS DEL HOTEL CASA ANDINA  
SELECT**

<b>NIV.</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>Total (m2)</b>
1	Recepción	87.7
1	Sala de espera	259.0
1	Habitación N°101	110.1
1	Habitación N.º 102	76.4
1	Comedor Principal	76.4
2	Habitación N°201	41.4
2	Habitación N°202	35.6
2	Habitación N°203	31.2
2	Habitación N°204	32.6
2	Habitación N°205	32.3
2	Habitación N°206	4.6
2	Habitación N°207	40.4
2	Habitación N°208	49.4
2	Cuarto de Limpieza	65.0
3	Habitación N°301	43.5
3	Sala de Reuniones Grande	27.8

3	Habitación N°302	35.5
3	Habitación N°303	31.2
3	Habitación N°304	22.0
3	Habitación N°305	21.3
3	Habitación N°306	36.6
3	Habitación N°307	36.6
3	Habitación N°308	33.1
3	Habitación N°309	33.1
3	Habitación N°310	21.3
3	Habitación N°311	156.0
<b>TOTAL :</b>		<b>1,440.1</b>

Fuente : Datos obtenidos de la distribución de áreas del Hotel Casa Andina elaborado en Excel

## 4.2 Método de la Investigación

El método de la investigación del proyecto de tesis es **MÉTODO INDUCTIVO CON ENFOQUE SISTEMICO** que hace referencia al Diseño de un Sistema Geotérmico de Baja Entalpía de 1613.36 MWh.

**La Caja negra** de los parámetros un sistema geotérmico es comúnmente definido como "Convección de agua en la corteza superior de la Tierra, que, en un espacio confinado, transfiere calor de una fuente de calor a un disipador de calor, por lo general la superficie libre donde el calor es absorbido (dispersado o usado)" (Energía, 2021). Un sistema geotérmico está formado por un reservorio, una fuente de calor y fluido.

Ilustración 4. 5 Caja negra

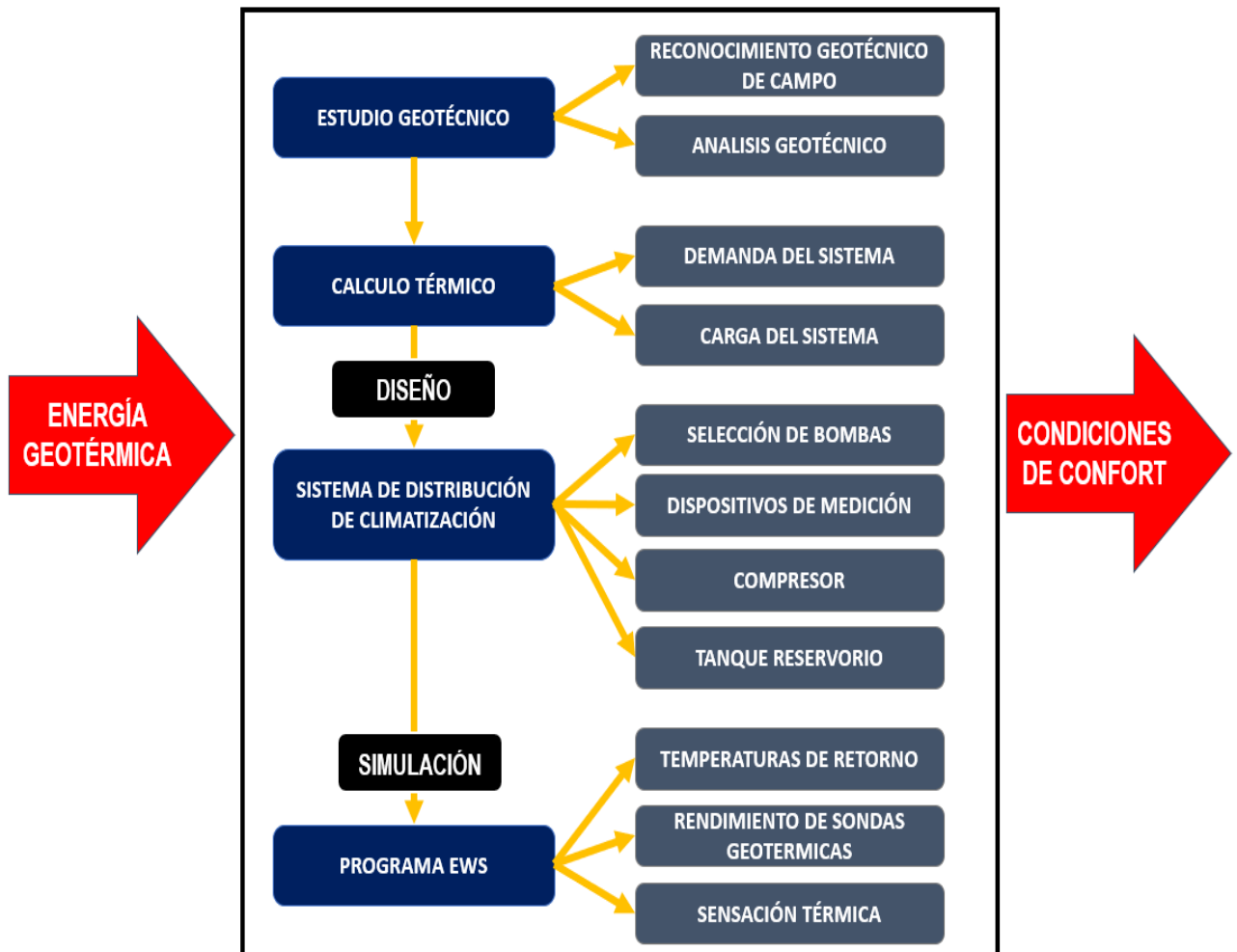


Fuente: Elaboración Propia – PowerPoint

**La caja blanca** del Diseño de un Sistema Geotérmico de baja entalpía busca ser una alternativa muy rentable y favorable para el menor consumo eléctrico es por ello que se desarrollara basándose en guías técnicas de diseño, que permitirán a través de las modelaciones concluir sobre la factibilidad técnica y económica,

así como también el uso efectivo de las estructuras ociosas que permitan mitigar la inversión inicial garantizando sostenibilidad y confort para el Hotel Casa Andina Select en Moquegua. (Vielma Sossa , 2013)

**Ilustración 4. 6 Caja blanca**



Fuente: Elaboración Propia – PowerPoint

### **4.3 Población y Muestra**

- **De Barrera (2008), expreso que:**

No hace falta hacer un muestreo cuando: (técnica para seleccionar a una muestra). La población es conocida y se puede identificar a cada uno de sus integrantes. La población, además de ser conocida es accesible, es decir, es posible ubicar a todos los miembros. La población es relativamente pequeña, de modo que puede ser abarcada en el tiempo y con los recursos del investigador. (Hurtado de Barrera, 2012)

- **De Pedro Luis López (2004), expreso que:**

La muestra, es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación. (Luis Lopez, 2004)

Por lo tanto, en la presente investigación deducimos que nuestra población será igual a nuestra muestra; ya que la población es conocida, identificable, accesible y es pequeña.

### **4.4 Lugar de estudio y período desarrollado**

El lugar de estudio del presente proyecto de tesis es el Hotel Casa Andina Select, cuya dirección es Prolongación Manuel C. de la Torre Ugarte S/N, Moquegua el cual tiene un clima cálido y templado, cuya temperatura habitual es de 25 ° C en el Departamento de Moquegua.

### **4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de la información.**

La técnica documental permite la recopilación de evidencias para demostrar las hipótesis de investigación. Está formada por documentos de diferente tipo: revistas, memorias, actas, registros, datos e información estadísticas y cualquier documento de instituciones y empresas que registran datos de su funcionamiento. (Espinoza, 2014)

En cuantos a las técnicas de investigación se realizó la recolección documental, el cual permite la recopilación de información incluyendo el uso de instrumentos

definidos según la fuente documental, donde se tienen los registros antecesores del Sistema Geotérmico en la Región de Moquegua.

**Tabla 4. 2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TECNICAS</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
<b>Planteamiento del Problema</b>	DOCUMENTAL	Ficha Bibliográfica Fichas Textuales Informes
<b>Marco Teórico</b>	DOCUMENTAL	Ficha Bibliográfica Fichas Textuales Informes
<b>Hipótesis y Variables</b>	DOCUMENTAL	Ficha Bibliográfica Fichas Textuales Informes Fichas de Equipos
<b>Diseño Metodológico</b>	DOCUMENTAL	Ficha Bibliográfica Normativa Aplicable Fichas Textuales Informes de Tesis
<b>Resultados</b>	DOCUMENTAL	Ficha Bibliográfica Normativa Aplicable Fichas Textuales Informes de Tesis
	EMPIRICA	Buscador WEB (Programm EWS) Lista de Chequeos

Fuente : Datos obtenidos a través de la elaboración de la tesis



#### **4.6 Análisis y procesamiento de datos**

La investigación no se basará en un análisis estadístico de datos debido a que solo se enfocará en la recopilación de datos obtenidos en campo para determinar las características del Diseño de un Sistema Geotérmico de Baja Entalpía, por lo tanto, no ameritará realizar un procesamiento de datos.

## V. RESULTADOS

A continuación, se presenta los resultados de la investigación.

### 5.1 Resultados Descriptivos

En presente sección de dará a conocer y analizará los datos obtenidos en la presente tesis obtenidos a partir de fuentes y estudios citados, de tal manera que se logró extraer datos relevantes en relación a los problemas y objetivos planteados basados en las dimensiones en las cuales se descomponen el sistema geotérmico de baja entalpia para mantener las condiciones de confort del Hotel Casa Andina Select en Moquegua.

#### 5.1.1 Temperatura de la tierra en Moquegua

A continuación, se muestra el comportamiento de la temperatura del suelo en cada mes del año que posee la localidad de Moquegua, dicha información es extraída a través del software **RESTSCREEN EXPERT**.

**Ilustración 5. 1 Comportamiento de la Temperatura Anual**



Fuente: Obtención de Temperaturas a través del programa **RESTSCREEN EXPERT**.

## Ilustración 5. 2 Parámetros Básicos del RESTSCREEN EXPERT

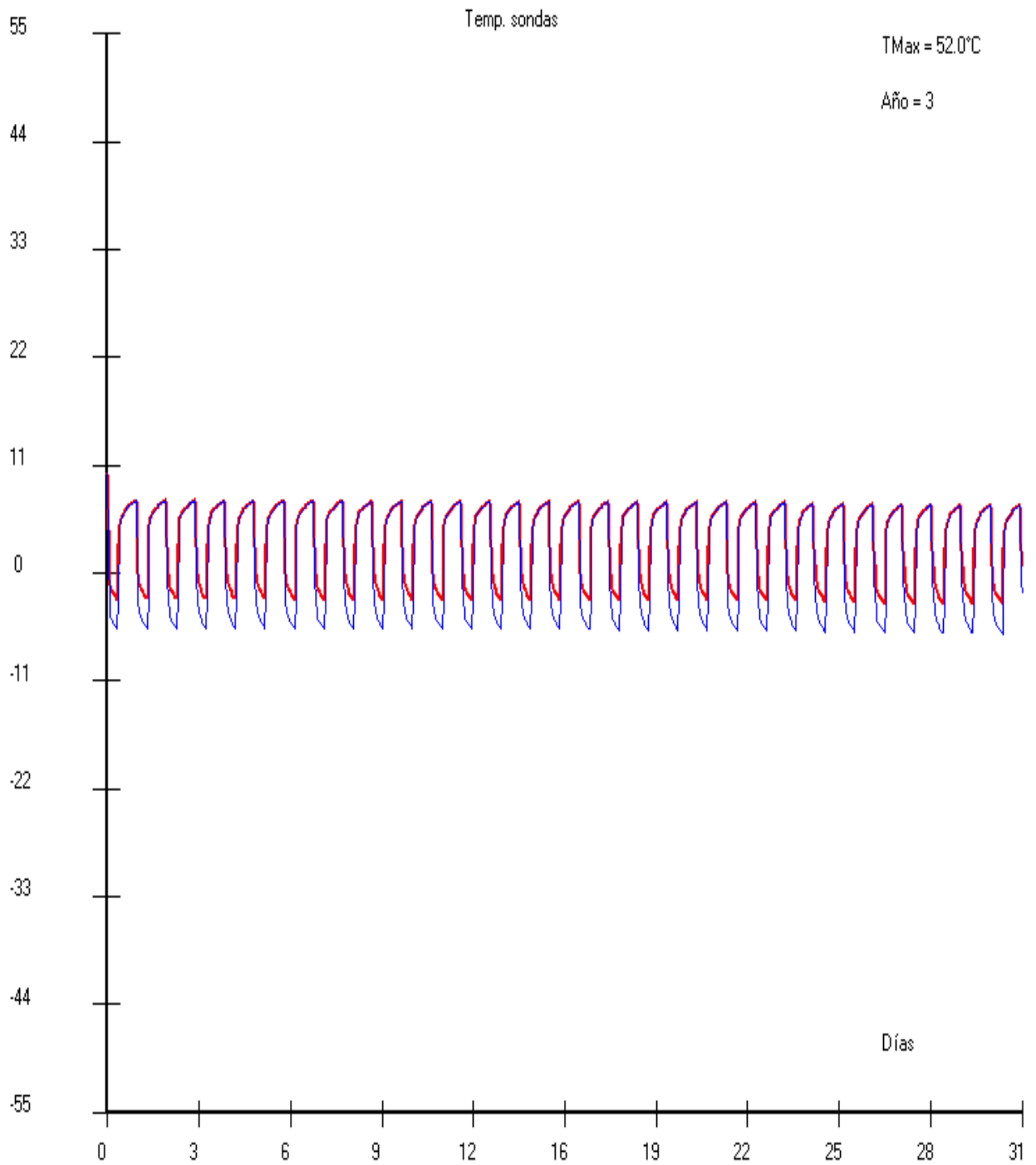
Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Precipitación	Radiación solar diaria - horizontal	Presión atmosférica	Velocidad del Viento	Temperatura del suelo	Grados-días de calefacción 18 °C	Grados-días de refrigeración 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Enero	14.1	69.8%	25.11	6.85	76.3	3.2	17.7	121	127
Febrero	14.3	70.7%	22.40	6.68	76.4	3.1	17.6	104	120
Marzo	14.2	69.0%	16.43	6.29	76.4	2.9	17.0	118	130
Abril	13.7	59.4%	3.90	5.39	76.4	2.8	15.5	129	111
Mayo	12.6	45.9%	0.93	4.63	76.4	2.7	13.3	167	81
Junio	11.6	41.7%	1.50	4.01	76.5	2.7	11.8	192	48
Julio	11.2	39.0%	1.86	4.21	76.5	2.7	11.5	211	37
Agosto	12.0	38.9%	2.48	4.78	76.5	2.9	13.0	186	62
Setiembre	12.6	40.6%	2.70	5.53	76.4	3.0	14.5	162	78
Octubre	13.2	45.3%	2.79	6.50	76.4	3.1	16.0	149	99
Noviembre	13.6	51.3%	3.90	6.99	76.4	3.2	16.9	132	108
Diciembre	13.9	61.6%	8.99	7.13	76.3	3.2	17.6	127	121
<b>Anual</b>	<b>13.1</b>	<b>52.7%</b>	<b>92.99</b>	<b>5.74</b>	<b>76.4</b>	<b>3.0</b>	<b>15.2</b>	<b>1,797</b>	<b>1,123</b>
<b>Fuente</b>	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Medido a					m	10	0		

Fuente: Obtención de parámetros a través del programa RESTSCREEN EXPERT.

### 5.1.2 Comportamiento de la temperatura de manera anual

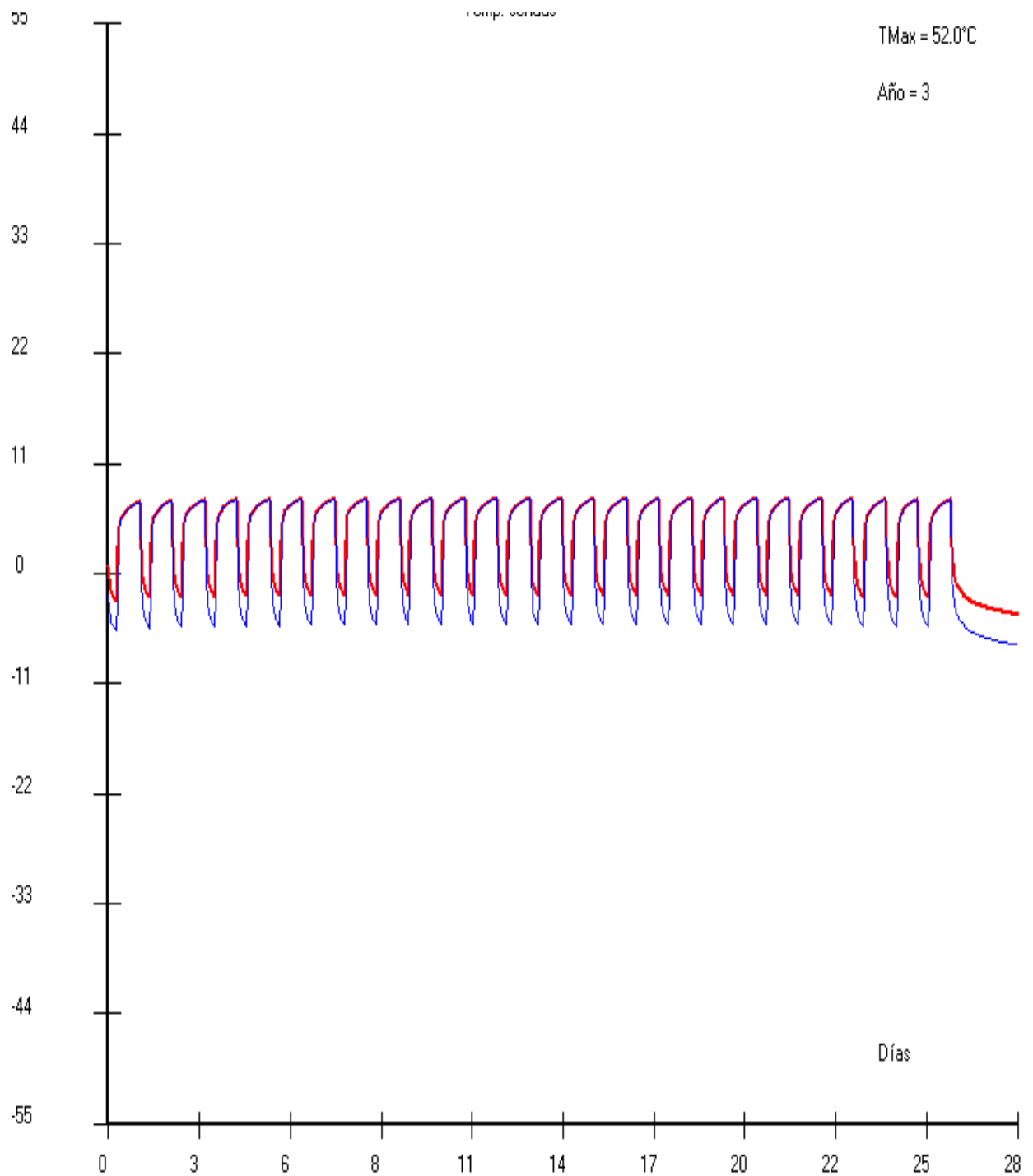
A través del Programa PROGRAMM EWS se aprecia el comportamiento de la temperatura del suelo y las temperaturas máximas en el mes.

**Ilustración 5. 3 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Enero**



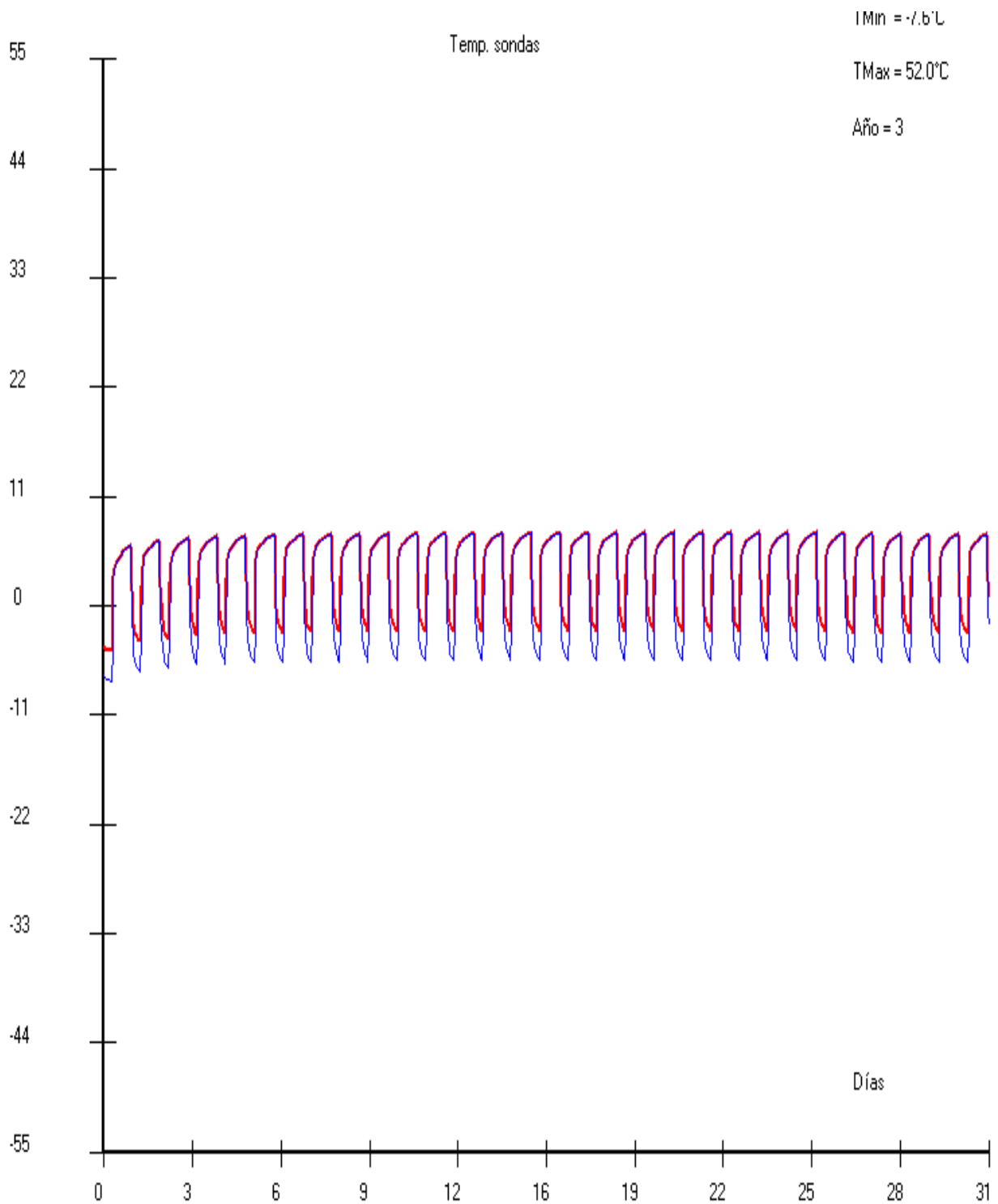
Fuente : Obtención de Temperaturas – Enero a través del Programm EWS

**Ilustración 5. 4 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Febrero**



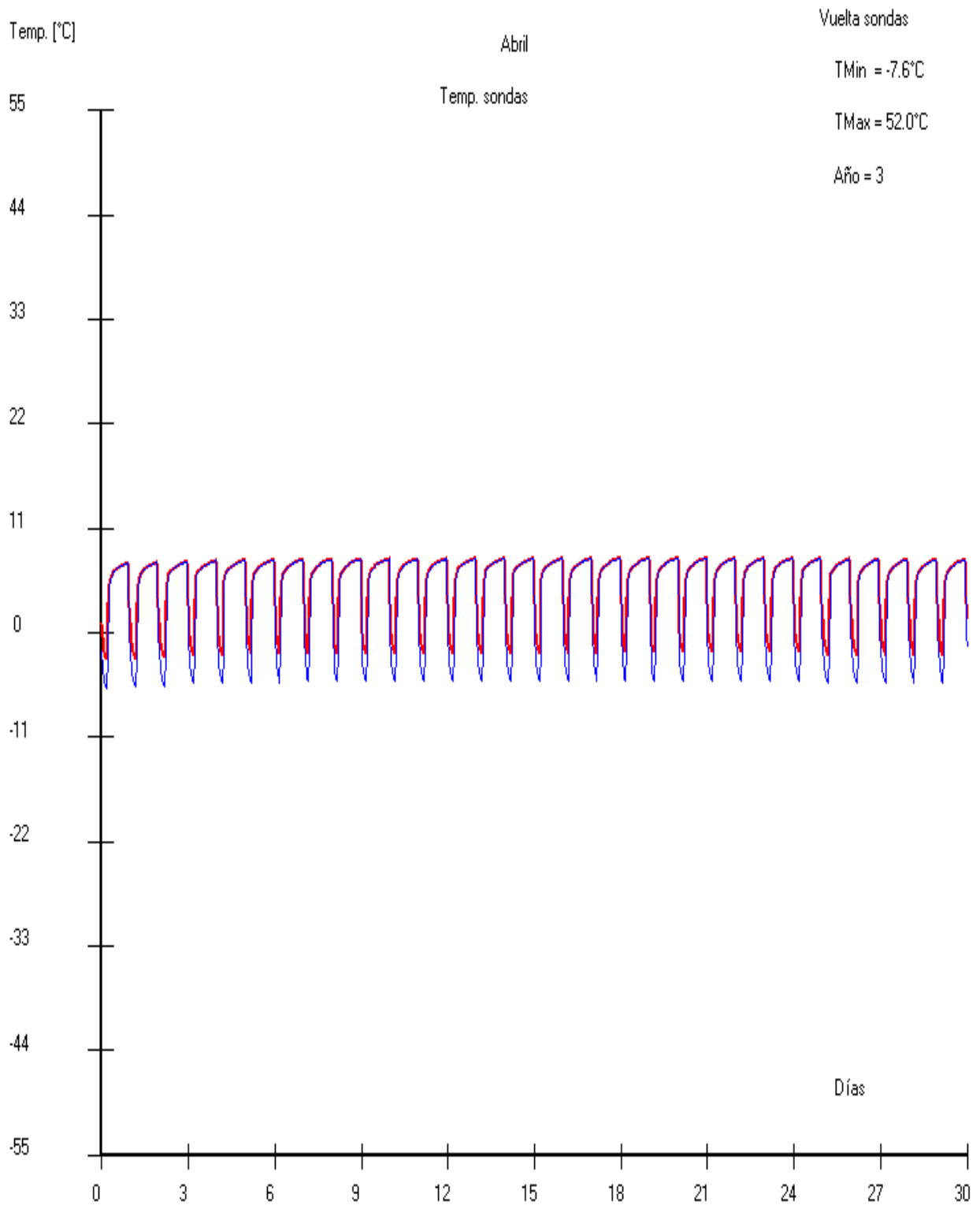
Probeversion mit Prog EWS © Huber Energietechnik AG, Zürich  
Fuente: Obtención de Temperaturas – Febrero a través del Program EWS

### Ilustración 5.5 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Marzo



Fuente: Obtención de Temperaturas – Marzo a través del Programm EWS

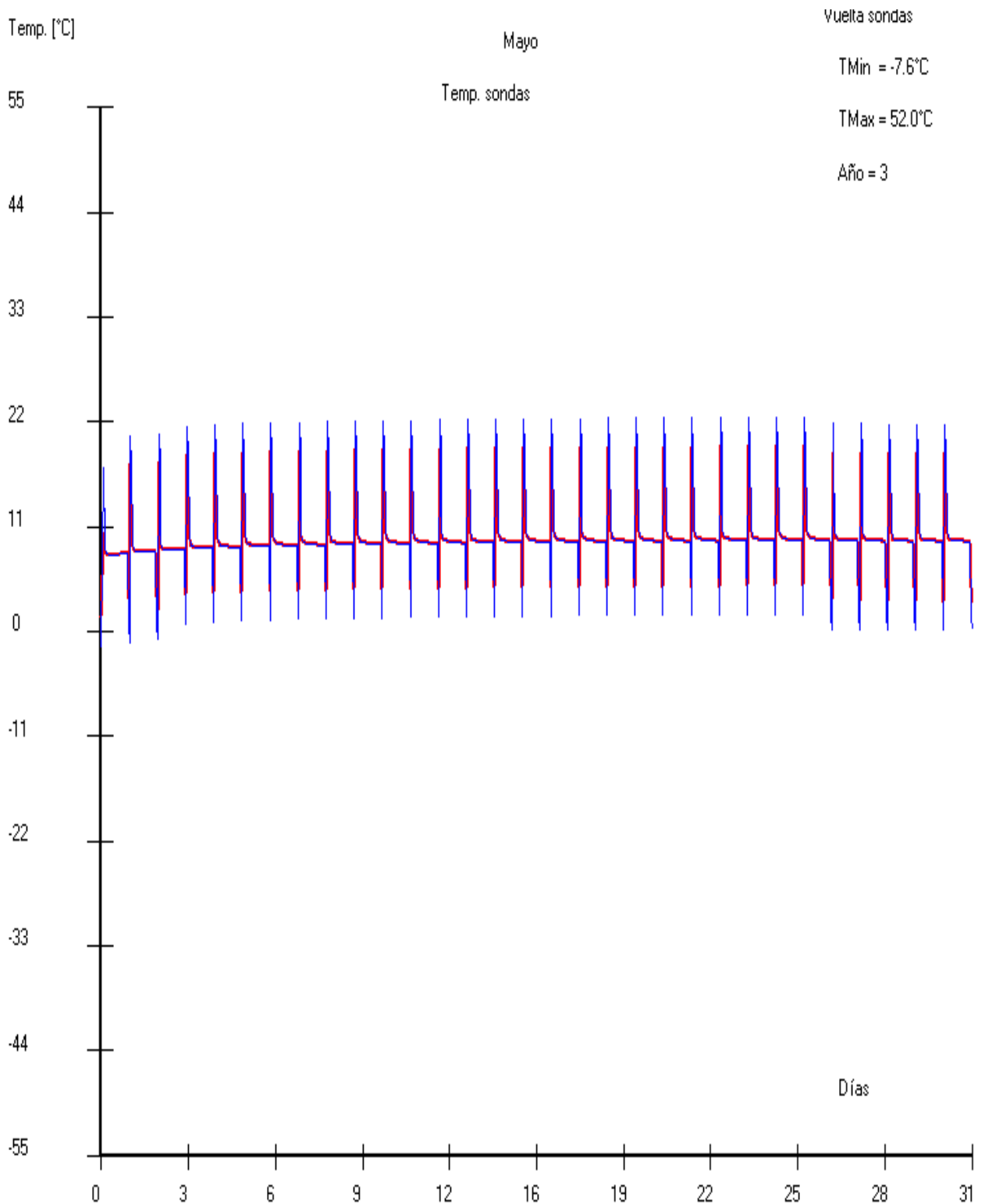
### Ilustración 5. 6 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Abril



Probeversion mit Prog EWS © Huber Energietechnik AG, Zürich

Fuente: Obtención de Temperaturas – Abril a través del Programm EWS

### Ilustración 5. 7 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Mayo

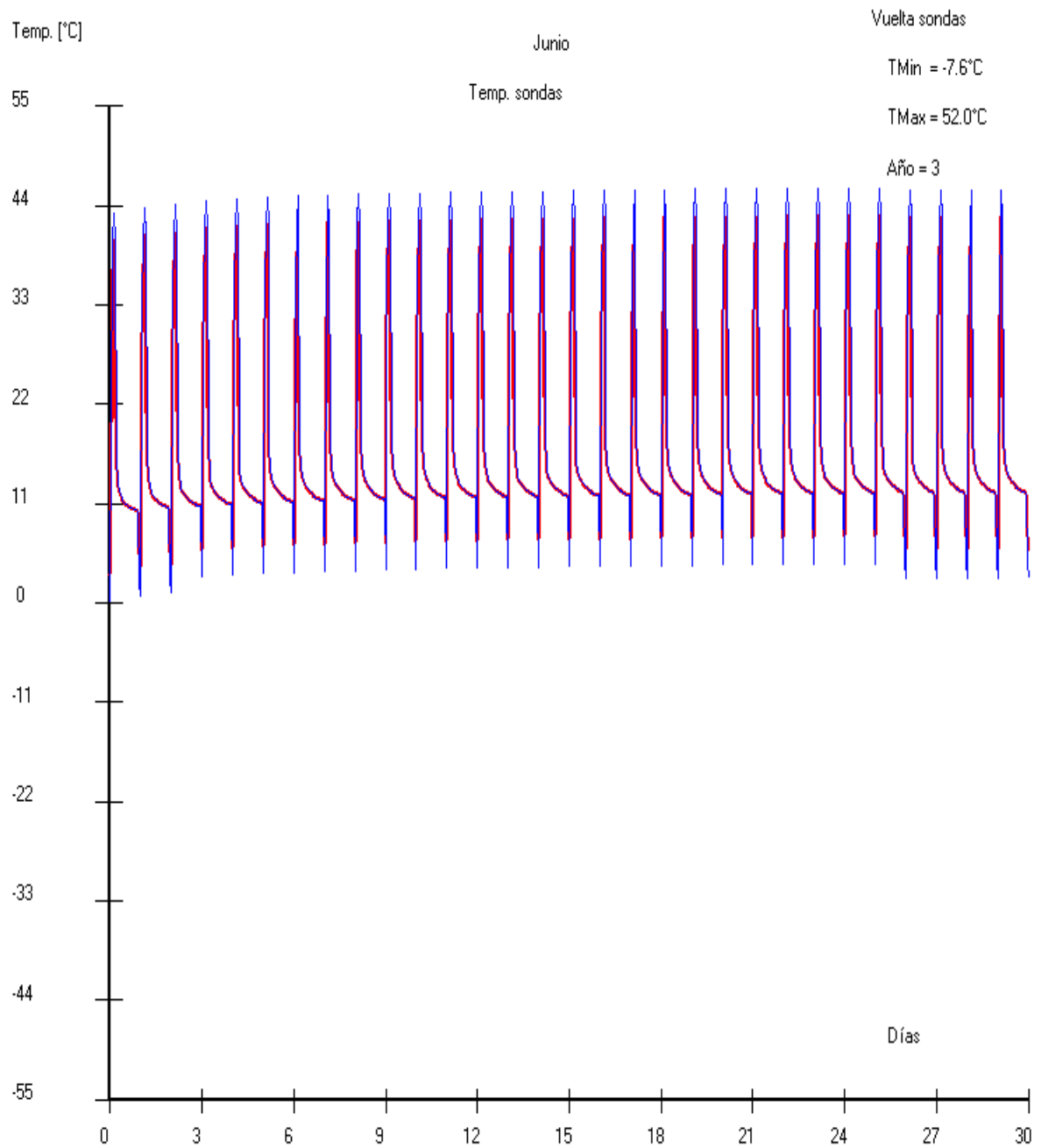


Probeversion mit Proa FWS © Huber Energiertechnik AG Zürich

Fuente : Obtención de Temperaturas – Mayo a través del Programm EWS

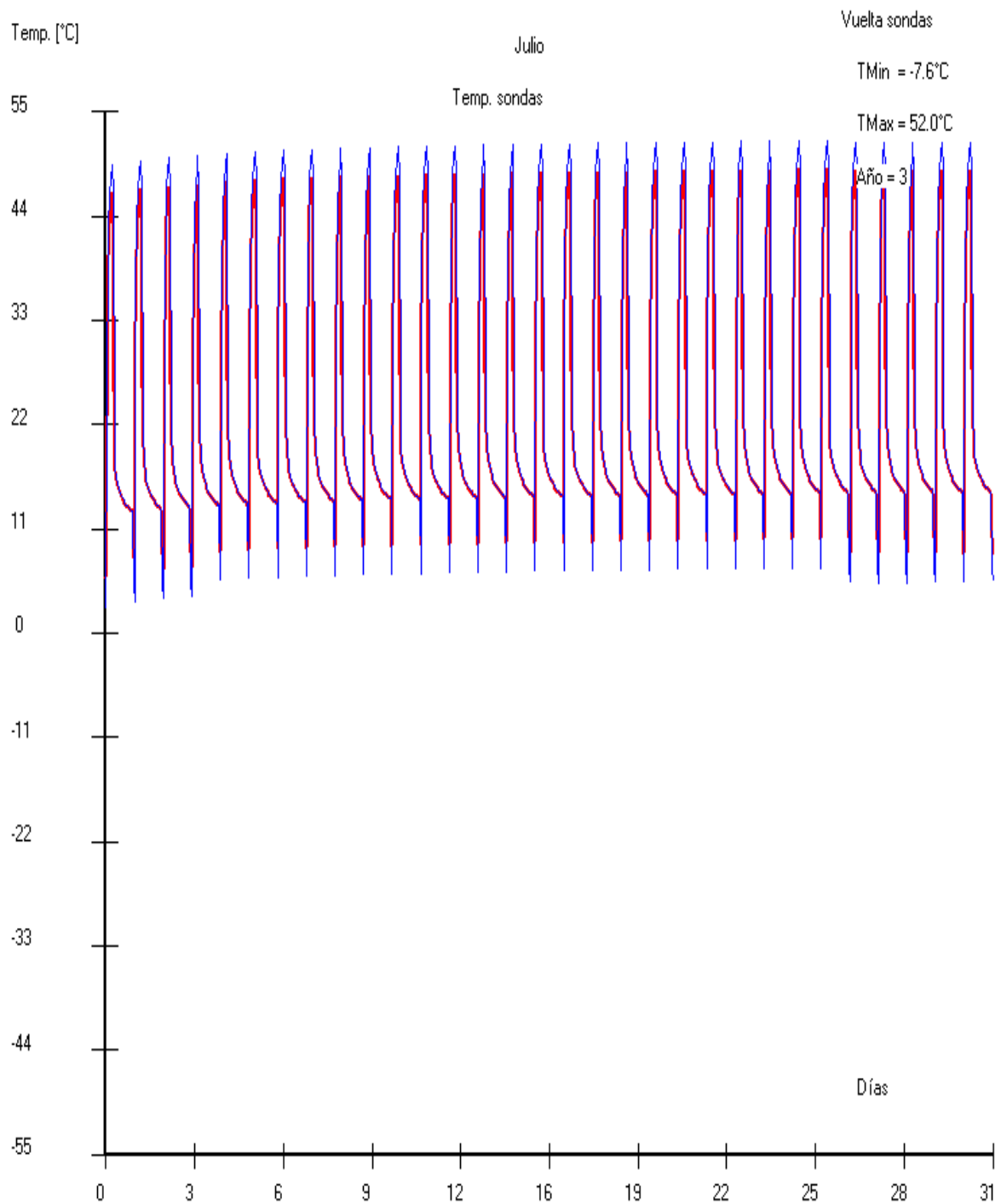


### Ilustración 5. 8 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Junio



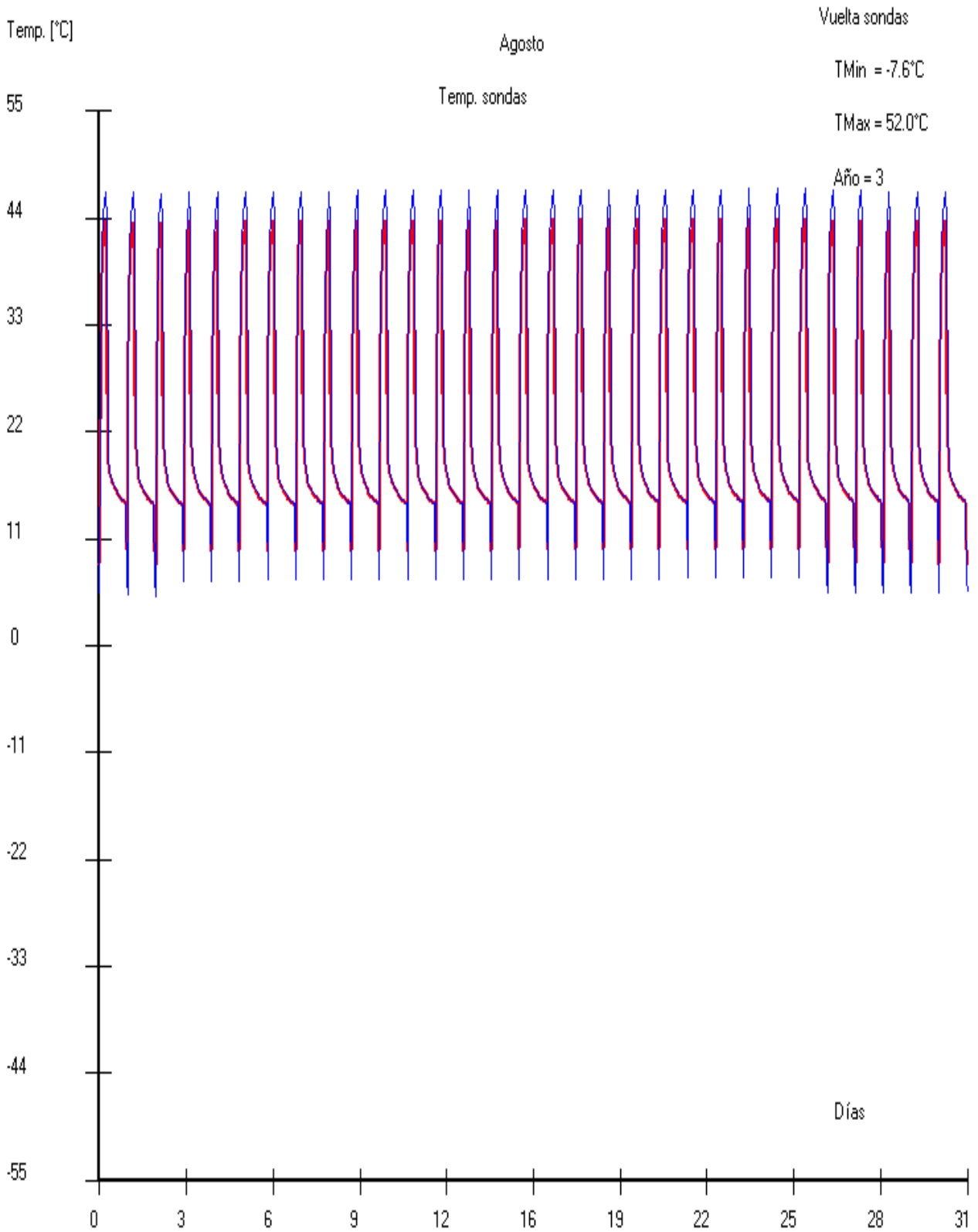
Fuente: Obtención de Temperaturas – Junio a través del Programm EWS

### Ilustración 5.9 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Julio



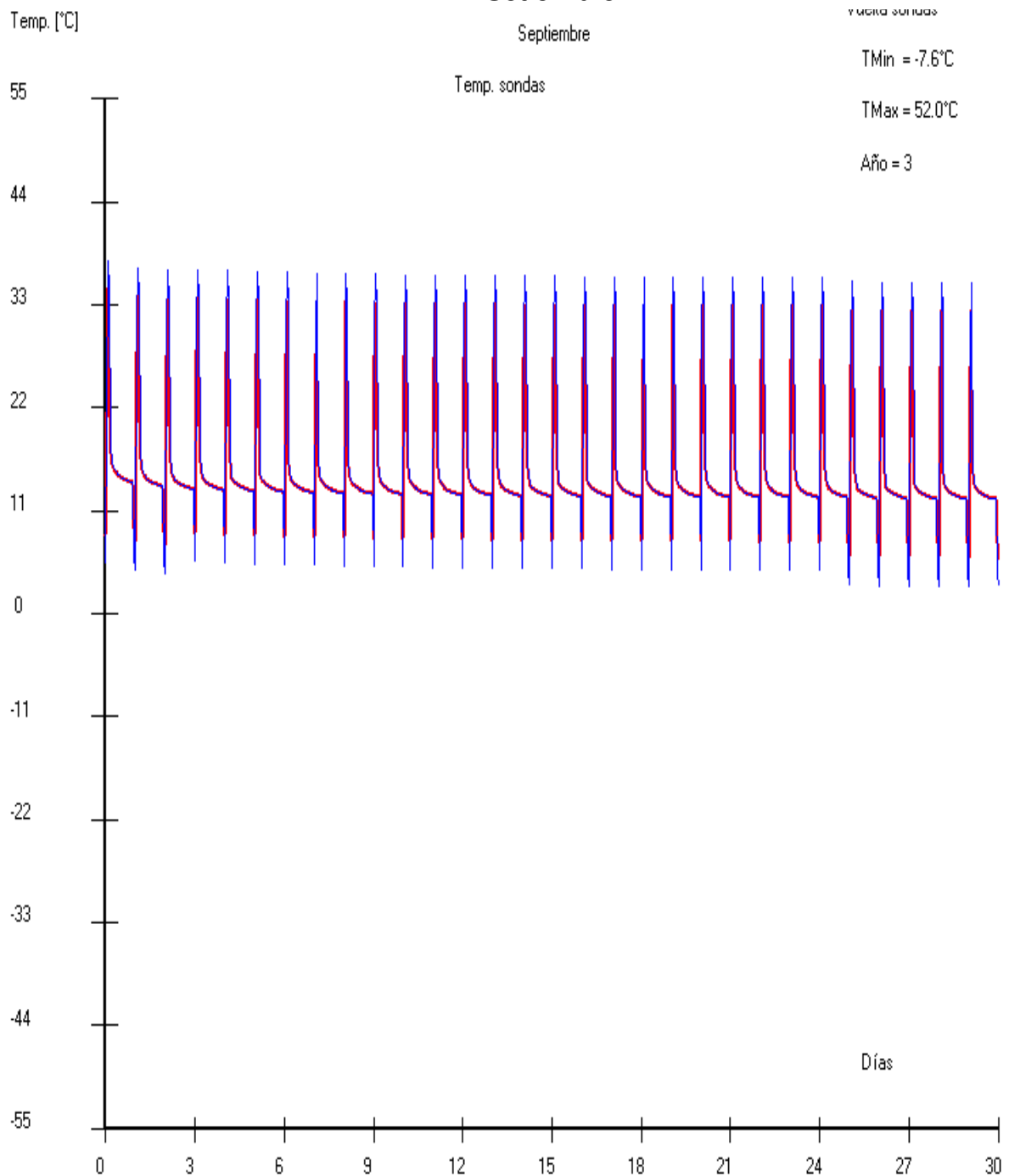
Fuente: Obtención de Temperaturas – Julio a través del Programm EWS

### Ilustración 5. 10 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Agosto



Fuente: Obtención de Temperaturas – Agosto a través del Programm EWS

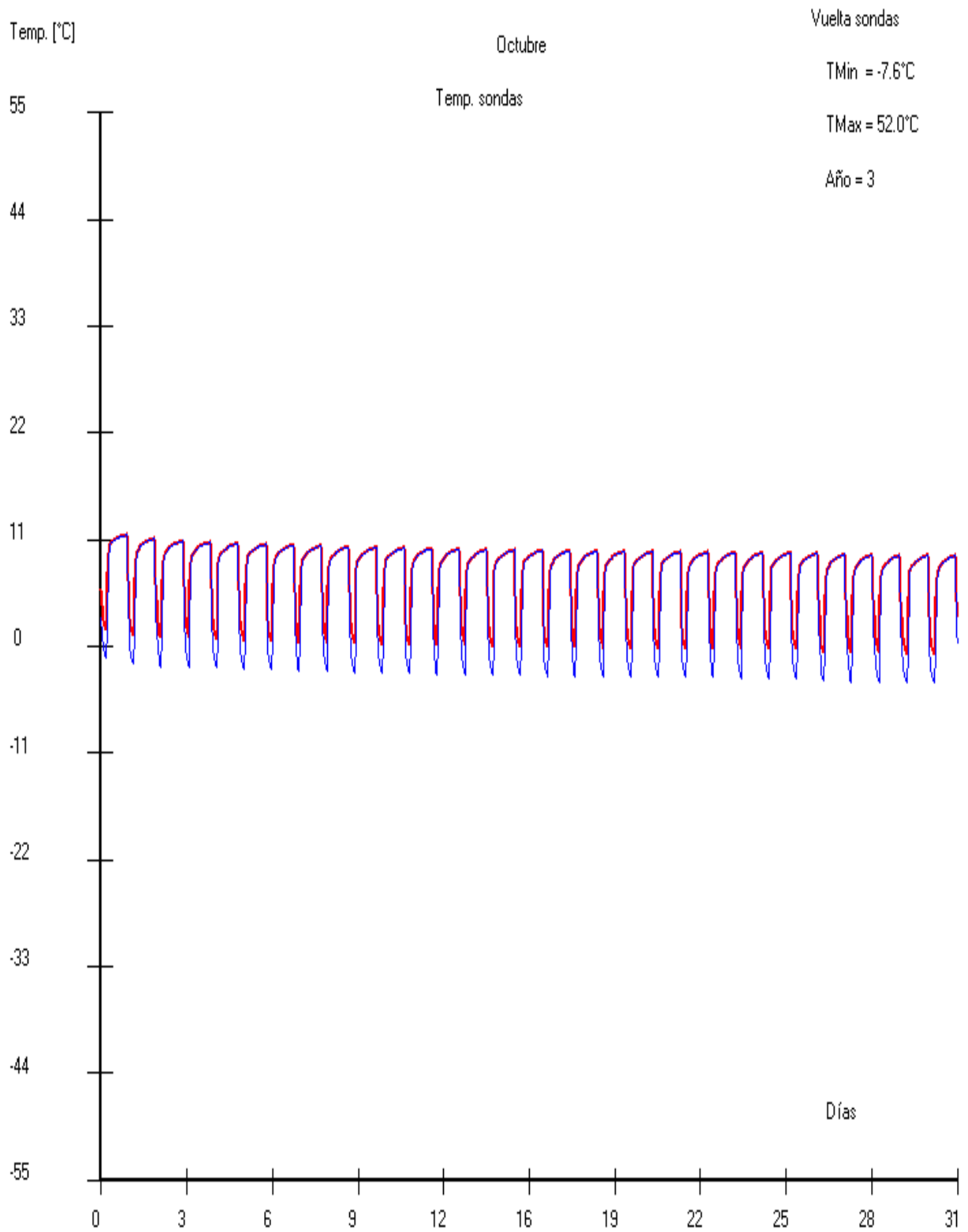
### Ilustración 5. 11 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Setiembre



Probeversion mit Prog EWS © Huber Energietechnik AG, Zürich

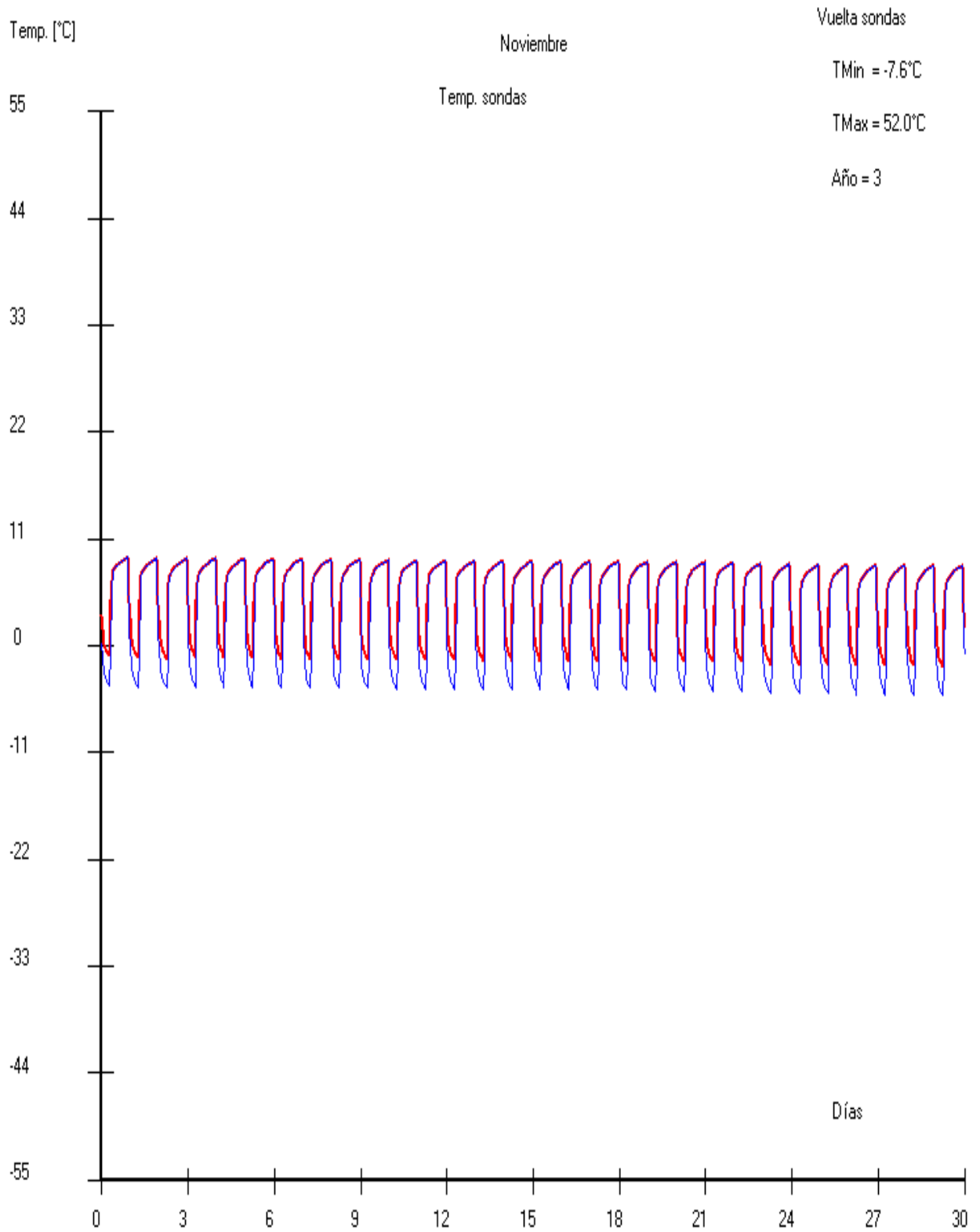
Fuente: Obtención de Temperaturas - Setiembre a través del Programm EWS

### Ilustración 5. 12 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Octubre



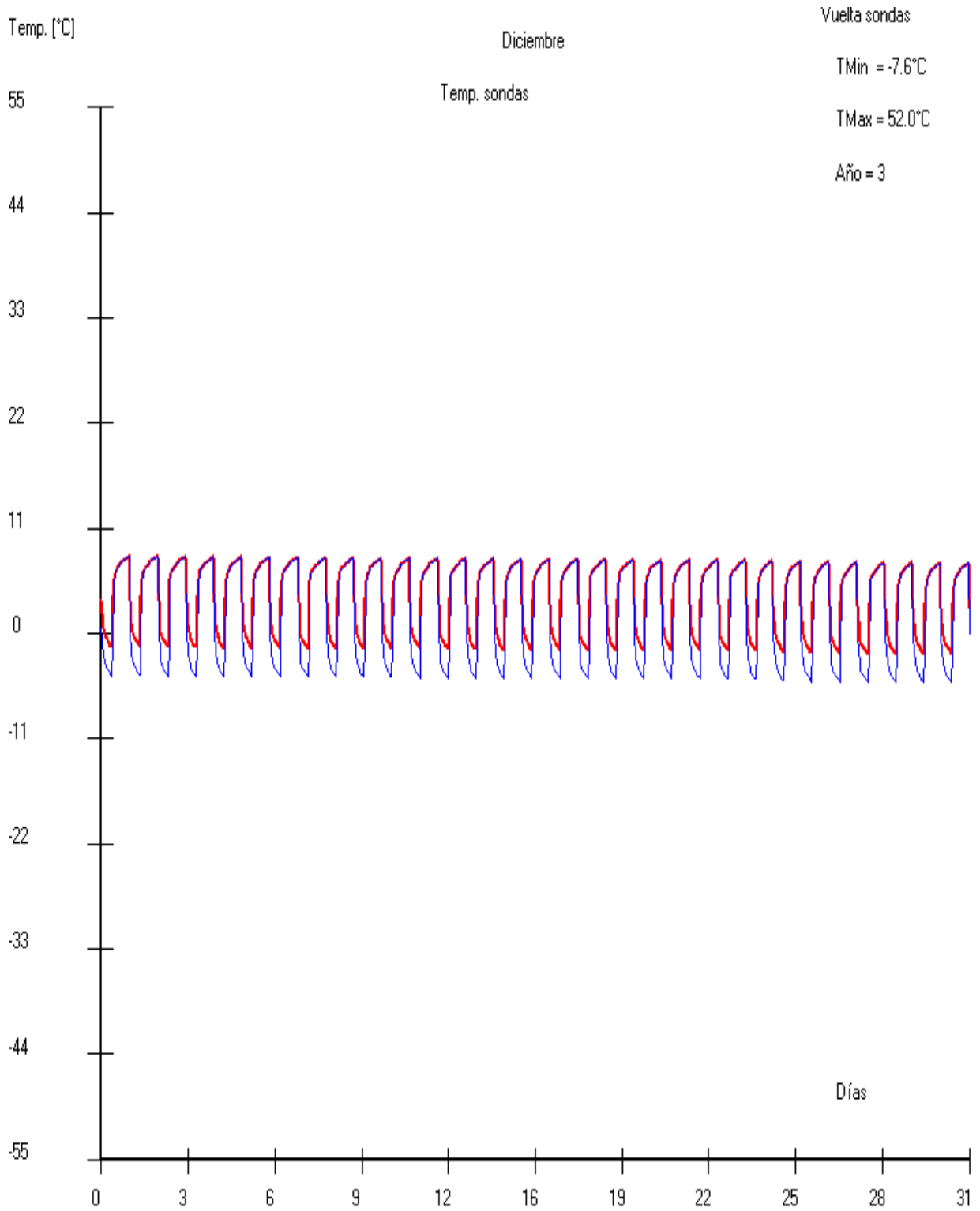
Fuente: Obtención de Temperaturas – Octubre a través del Programm EWS

### Ilustración 5. 13 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Noviembre



Fuente: Obtención de Temperaturas – Noviembre a través del Programm EWS

### Ilustración 5. 14 Variación de la Temperatura con respecto al Mes de Diciembre



Fuente: Obtención de Temperaturas - Diciembre a través del Programm EWS

## 5.2 Selección de equipos

### 5.2.1 Diseño de intercambiador geotérmico

Se realizó la selección en base a la demanda de carga térmica del hotel (**Ver ANEXO N°08**) para ello se hizo la selección de la bomba geotérmica con las siguientes características:

**Tabla 5. 1 Selección de Equipos - Intercambiador de Calor**

<b>CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICO</b>		
Aplicación	Calefacción	Si
Refrigerante	Tipo	R410A
	Potencia calorífica	138 KW
	Consumo eléctrico	44.15-48.15 KV
	COP	3.34
	Temperatura máxima	45°C
	Temperatura mínima	7°C
Circulo de captación	Caudal nominal	23564 L/h
	Anticongelante recomendado	Propilenglicol/agua -17+/- 2 °C

Fuente: Características de la Bomba de Calor Geotérmico - Excel



## 5.2.2 Propiedad del fluido circulante

Se desarrollo a través de la siguiente tabla:

**Tabla 5. 2 Propiedades del Fluido**

<b>PROPIEDADES</b>	<b>AGUA</b>	<b>PROPILENGLICOL</b>
Densidad a 20°C(g/cm <sup>3</sup> )	1	0.8630
Punto de congelación	0	-12
Punto de ebullición °C	100	187
Calor específico a 15 °C (kJ/kg·K)	4.187	2.5037
Viscosidad a 0°C (Pa·s)·10 <sup>-3</sup>	1.79	243
Viscosidad a 20°C (Pa·s)·10 <sup>-3</sup>	1.01	60.5
Viscosidad a 40°C (Pa·s)·10 <sup>-3</sup>	0.655	18.0
Conductividad térmica a 20 0C (kW/m·K)·10 <sup>-3</sup>	0.60	0.20

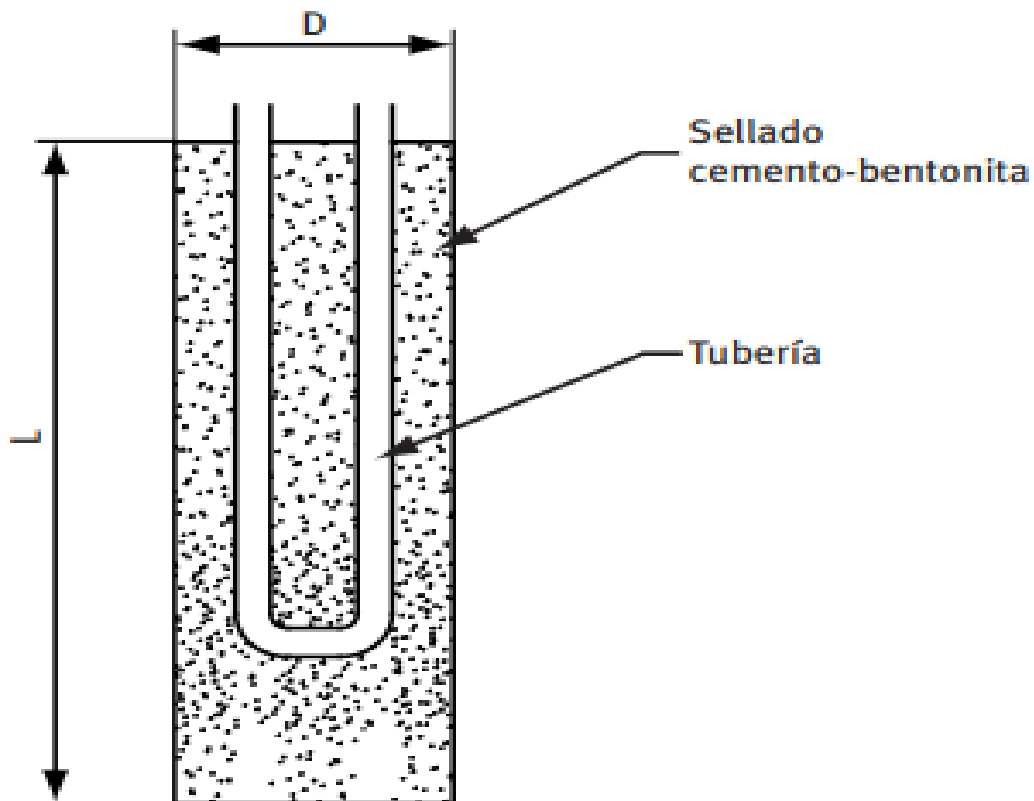
Fuente: Propiedad del Fluido – Propilenglicol - Excel

### 5.2.3 Configuración del intercambiador de calor

Para esta tesis, se ha optado por una configuración vertical de estos, ya que por un lado no se dispone del espacio necesario para llevar a cabo una captación horizontal, y por otro lado no existe agua subterránea en la zona que permita llevar a cabo un sistema abierto.

La profundidad de instalación de estos sistemas puede llegar desde los 45 a los 150 metros. Gracias a esta alta profundidad se permite que el suelo donde van a estar situados los captadores pueda ser aprovechado. Además, cabe decir que la dispersión del flujo térmico no se produce en dirección vertical, sino en dirección horizontal, por lo que no se satura el terreno. La elevada profundidad permite además evitar la elevada influencia de la temperatura exterior en el captador. (GUTIERREZ PACO, y otros, 2018)

**Ilustración 5.2. 1 Secciones de Intercambiador Vertical**



Fuente: Intercambiador Vertical – Diseño de Sistemas de Intercambio Geotérmico - 2014

### 5.2.4 Elección de tubería colectora

Se eligió la tubería de polietileno con las siguientes características:

$$RE = \frac{4*Q}{\pi*\sigma*D} > 2300$$

**Donde**

$Q$ : Es el caudal en  $m^3/s$

$\vartheta$ : Es la viscosidad cinemática en  $m^2/s$

$D$ : Es el diámetro de los tubos

De acuerdo a los datos ya mencionados se tiene lo siguientes valores:

$$Q = .00654 \frac{m^3}{s}$$

$$\vartheta = 2.2257 * 10^{-5} m^2/s$$

Reemplazando los datos en la ecuación se logra obtener lo siguiente:

$$RE = = \frac{4*6.54*10^{-3}}{\pi*2.2257*10^{-5}*0.044} > D$$

$$9230.56 > 2300$$

Con el resultado obtenido hacemos la selección de la tubería de polietileno que a continuación presentamos:

**Tabla 5. 3 Características del Polietileno**

<b>TUBERÍA DE POLIETILENO</b>	
<b>Diámetro exterior</b>	<b>50 mm</b>
<b>Diámetro interior</b>	<b>44 mm</b>
<b>Espesor</b>	<b>3 mm</b>

Fuente: Características del Polietileno - Excel

### 5.2.5 Temperaturas máximas y mínimas de la tierra

De acuerdo al programa RESTSCREEN se obtiene las temperaturas del suelo:

**Tabla 5. 4 Temperaturas del Terreno - Moquegua**

<b>TEMPERATURA MÁXIMA (TH)</b>	17.7
<b>TEMPERATURA MÍNIMA (TL)</b>	11.5
<b>PROMEDIO</b>	15.2

Fuente: Temperatura Máxima y Mínimas del Terreno – RESTSCREEN

### 5.2.6 Temperatura mínima de la entrada del fluido a la bomba de calor

De acuerdo al fabricante la temperatura en modo de calor es la siguiente:

$$T_{MIN} = 12.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

### 5.2.7 Diferencia de temperaturas entre el circuito y el suelo

Para nuestros sistemas se tiene los siguiente:

$$TL - T_{MIN} = 0.5$$

### 5.2.8 Resistencia de los tubos al flujo del calor

Con las características de tubo seleccionado tenemos lo siguiente:

$$R_p = \frac{1}{2\pi K_p} * \ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)$$
$$R_p = \frac{1}{2\pi\left(0. \frac{43W}{m.k} \cdot\right)} * \ln\left(\frac{180}{166.2}\right)$$
$$R_p = 0.029 \text{ m.k/W}$$

## 5.2.9 Resistencia de la Tierra

Para el caso de la resistencia de la tierra se considera proporcionalmente inversa a la conductividad de terreno.

$$R_s = 0.0119 \text{ m.k/W}$$

### a) Cálculo de Intercambiador Geotérmico

Antes de proceder a usar el software se tiene que diseñar el intercambiador se va a proceder a realizar un pequeño cálculo aproximado de la profundidad de sondeo

El calor que tiene que aportar el terreno viene dado por la siguiente expresión:

$$Q_{\text{sonde}} = Q_{\text{calefaccion}} * \frac{\beta_a - 1}{\beta_a}$$

Siendo  $\beta_a$  el factor de eficiencia anual o estacional de una bomba de calor eléctrica es la relación entre el calor suministrado anualmente y la cantidad de energía eléctrica consumida.

El factor de eficiencia es diferente del coeficiente de operación COP.

El coeficiente de operación de una bomba de calor eléctrica, es la relación momentánea entre la cantidad de calor emitida y la eléctrica consumida, para un determinado punto de trabajo.

Para una bomba de calor geotérmica 0 la eficiencia estacional sería 3.14 de acuerdo a tablas del fabricante

$$Q_{\text{sonde}} = 373.55 \text{ kW} \left( \frac{3.34-1}{3.34} \right) = 261.70 \text{ kW}$$

Esta cantidad de energía que tiene que aportar el terreno es la potencia del evaporador de la bomba.

Roca consolidada con conductividad térmica elevada ( $\lambda > 3,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ) y la utilización de 1800 horas/año del ANEXO 4, se puede obtener que la extracción de calor específica es 84 W/m. Por lo que la profundidad de sondeo será:

$$L_{sondeo} = \frac{261.70KW}{50W/m} = 5234 \text{ m}$$

Con ello encontramos la longitud total de la sonda

El intercambiador está definido por los siguientes parámetros:

Número de bucles: representa el número de circuitos en paralelo en los que se divide el flujo principal.

- **M: es el número de pozos en dirección Y**
- **N: es el número de pozos en dirección X.**
- **D: es la distancia entre pozos adyacentes. Para sondeos de más de 50 m de profundidad ha de ser mayor de 5m.**

$$L_u = \frac{L_{total}}{2 * N * M}$$

Donde:

- **$L_u$  = Profundidad de sondeo (m)**
- **$L_u = \frac{L_{total}}{2*N*M} = L_u = \frac{5234}{2*5*5} = 104.68 \text{ m}$**

Con ello encontramos la profundidad de perforación de cada pozo

Para determinar la cantidad de pozos se tiene los siguiente:

- **Cantidad de pozos =  $\frac{L_{total}}{L_u} = \frac{5234}{104.68} = 50 \text{ pozos}$**

## 5.2.10 Modelamiento del sistema geotérmico de baja entalpia

Tal como se mencionó en los anteriores apartados para la demostración y validez de nuestros cálculos tenemos nos apoyamos del programa geotérmico EWS en cual nos brinda sus herramientas para insertar nuestros datos hallados y verificar si los parámetros que hemos calculado cumplen con la demanda de Hotel Casa Andina Select en Moquegua.

Los datos son necesarios ya que con ellos se puede obtener un valor eficaz y demostrar que nuestro sistema es confiable, en la siguiente ilustración se mostrará el resultado obtenidos los cuales nos muestra que nuestro sistema geotérmico aporta con 409 kWh , el cual cumple con la demanda de nuestro sistema que es de 373kw con ello validamos que nuestro sistema es confiable y podrá mantener las condiciones de confort del Hotel Casa Andina select en Moquegua.

### Ilustración 5.2. 2 Simulación de Valores - Programm EWS

**Resultate Programm EWS**  
 Programm EWS, Lizenz von probeLizenz © Huber Energietechnik, Zürich  
 Huber Energietechnik AG, Zuerich

**Descripción del proyecto**  
 Projekt Erdwaermesonden  
 Programm EWS, Ver 5.4 mit Default-Werten

Datos de entrada		Resultados	
Conductividad térmica del terreno=	50 W/mK	Energía inyectada en las sondas geotérmicas=	0 kWh
Temperaturas en el terreno no perturbado	10.10 °C	Energía extraída de las sondas geotérmicas=	1729000 kWh
Número de sondas geotérmicas=	50	Energía anual de enfriamiento de la distribución de frío (TABS)=	0 kWh
Profundidad de las sondas geotérmicas=	104.68 m	Petición de frío del edificio=	590800 kWh
Espaciamiento entre las sondas=	5 m	Cubierta de frío con las sondas=	0 %
Diámetro externo de la sonda=	50 mm	Temperatura de vuelta mínima de las sondas=	5.3 °C
Fuerza de extracción de las sondas geotérmicas=	1.0 kW	Temperatura de vuelta máxima de las sondas=	17.8 °C
Fuerza de inyección en las sondas geotérmicas=	3.3 kW	Fuerza máxima de enfriamiento de las sondas=	0 kW
Duración de extracción a finales de febrero=	2 Tage	Fuerza máxima de calentamiento de las sondas=	0 kW
Fuerza de extracción en la duración del funcionamiento=1.0	kW	Media de encargo de sondas en julio/agosto=	26.3 W/m
Fuerza necesaria para enfriamiento máximo=	2.5 kW	Horas por encima de la temp. de depósito del aire inyectado=	0 h
Fuerza máxima necesaria de enfriamiento=	1.3 kW	Frío librado por la máquina frigorífica =	0 kWh
Recalentamiento del aire inyectado en el ventilador=	0.0 °C	Energía ganada por la recuperación de calor =	0 kWh
Eficacia de recuperación del aire inyectado=	0.00	Petición de energía total de calentamiento =	1613.36 kWh
Fuerza térmica del calentamiento auxiliar=	kW	Calor faltante de la bomba a calor =	0 kWh
		- Del cual cubierto por calentamiento auxiliar =	0 kWh
		Pérdidas de carga con las condiciones de dimension =	2 Pa laminar

Control Panel:  
 Gráfico  
 Modificar parámetros  
 Nuevo cálculo  
 Cerrar

Fuente: Programm EWS – Simulación

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados:

#### a) HIPOTESIS N°1

**Tabla 6. 1 Resultados de la Hipótesis N°01**

<b>PROBLEMA</b>	¿Cómo realizar el estudio geotécnico local para conocer el potencial geotérmico?
<b>HIPOTESIS</b>	Si realizamos el estudio geotécnico local podremos conocer el potencial geotérmico.
<b>RESULTADO</b>	Se realizó el estudio geotécnico local donde se verificaron las condiciones actuales del terreno (Hotel Casa Andina Select), mediante cálculos logrando sé obtener como Potencial Geotérmico 215 MW.

Fuente: Discusión de Resultados – Hipótesis N°01 – Excel

#### b) HIPOTESIS N°2

**Tabla 6. 2 Resultados de la Hipótesis N°02**

<b>PROBLEMA</b>	¿Cómo diseñar el intercambiador geotérmico para cumplir con la carga térmica en el Hotel Casa Andina Select en Moquegua?
<b>HIPOTESIS</b>	Si diseñamos el intercambiador geotérmico se logrará cumplir con la carga térmica que posee el Hotel Casa Andina Select en Moquegua.
<b>RESULTADO</b>	Se realizó la metodología de cálculo para diseñar el intercambiador geotérmico cual se obtuvo como resultado de 50 colectores vertical



de 104.68 m de profundidad que cumplirán con la carga térmica que posee el Hotel Casa Andina Select logrando así abastecer de calefacción durante todo el año el dicho hotel

Fuente: Discusión de Resultados – Hipótesis N°02 – Excel

### c) HIPOTESIS N°3

**Tabla 6. 3 Resultados de la Hipótesis N°03**

<b>PROBLEMA</b>	¿Cómo seleccionar los componentes mecánicos y eléctricos del sistema de distribución de climatización en el hotel casa andina select?
<b>HIPOTESIS</b>	Si seleccionamos los componentes mecánicos y eléctricos lograremos realizar la distribución del sistema de climatización del Hotel Casa Andina Select.
<b>RESULTADO</b>	Se realizó la metodología de cálculo para la selección de componentes para el Sistema de Climatización, logrando lo siguiente: 5234 metros de Sondas de tipo polietileno con un diámetro interior de 44 milímetros , 03 Bombas de Calor de 138 kW con un COP DE 3.34

Fuente: Discusión de Resultados – Hipótesis N°03 – Excel

### d) HIPOTESIS N°4

**Tabla 6. 4 Resultados de la Hipótesis N°04**

---

**PROBLEMA**

¿Cómo simular mediante el programa EWS las condiciones de operación del Sistema Geotérmico Propuesto?

**HIPOTESIS**

El simular mediante el programa EWS nos permitirá comprobar las condiciones de operación del sistema Geotérmica Propuesto.

**RESULTADO**

Mediante el Programa EWS logramos comprobar que la energía que se extrae del sistema geotérmico cumplirá el estándar de la energía que requiere el Hotel Casa Andina para mantener las condiciones de confort.

---

Fuente: Discusión de Resultados – Hipótesis N°04 – Excel

## 6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

**Tabla 6. 5 Contrastación de los Resultados**

TESIS DE GRADO	DISEÑO DE UN SISTEMA GEOTÉRMICO VERTICAL DE BAJA ENTALPÍA DE 1613.36 MWh PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE CONFORT EN EL HOTEL CASA ANDINA SELECT EN MOQUEGUA	APLICACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA PARA LA CLIMATIZACIÓN DE UN EDIFICIO DE OFICINAS EN ALCORCON (MADRID)
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	Diseñar un sistema geotérmico de baja entalpía 1613.36 MWh para mantener las condiciones de confort en el Hotel Casa Andina Select en Moquegua	Valorar la posibilidad de cambiar el sistema completo en vez de cambiar los aparatos anteriormente instalados, produciendo así una mejora tanto económica como medioambiental.
<b>DESCRIPCION</b>	Determinar una metodología de diseño para un sistema geotérmico, el cual mantenga las condiciones de confort del Hotel Casa Andina Select.	Hacer que la instalación sea rentable a lo largo de los años, haciéndola atractiva para otras inversiones y conservando el medio ambiente.
<b>DISEÑO</b>	Carga Térmica: 373 kW	Carga Térmica: 185.45 kW

Fuente: Datos obtenidos en base a la tesis desarrollada



### 6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes (el autor de la investigación se responsabiliza por la información emitida en el informe)

#### DECLARACIÓN JURADA DE DOCUMENTO DE CARÁCTER ESPECIAL

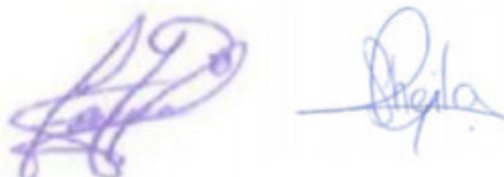
#### “PROCESO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PARA ELABORACIÓN DE TESIS”

Señores  
**NESSUS HOTELES PERU S.A.**  
Presente.-

De nuestra consideración:

El que suscribe declara bajo juramento:

1. Haber examinado con detalle la documentación solicitada para el proceso de recolección de datos e información del Hotel Casa Andina Select en la Región de Moquegua.
2. Que el documento presente indica la obtención de datos y/o valores del Hotel Casa Andina Select de la Región Moquegua, es considerado por APROBADO, por ello se da el permiso de recolección de datos.



Lima, 13 de febrero del 2021.



---

Firma del Apoderado o Representante Legal

## CONCLUSIONES

- De acuerdo al estudio geotécnico se obtuvo que el terreno donde se encuentra ubicado el Hotel Casa Andina Select, posee un potencial geotérmico de 215 MW, por ello basado en parámetros y CRITERIOS GEOLÓGICOS-MORFOLÓGICOS, se ha reconocido que el suelo del Hotel Casa Andina Select, tiene las siguientes características: subsuelo de roca consolidada con una CONDUCTIVIDAD TÉRMICA ( $\gamma < 3 \text{ W/mK}$ ) y una CAPACIDAD CALORÍFICA (50 W/m), lo cual nos indica que es un TERRENO IDEAL para la implementación de dicho sistema geotérmico.
- Mediante una metodología de cálculo se determinó que el potencial máximo a climatizar fue de 373.55 KW y se estimó su suministro será a través de 03 BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICO del tipo agua –agua que sustituye a la bomba de calor aire-agua convencional. Por lo cual se dedujo que para suministrar la potencia deseada se necesita de la instalación de 50 SONDAS GEOTÉRMICAS de 104.3 METROS DE PROFUNDIDAD ,las cuales suministrarán la potencia necesaria para cada espacio a climatizar por medio de sistemas fan coils ya instalados en el Hotel Casa Andina Select.
- Se validaron las condiciones del Diseño del Sistema Geotérmico Propuesto, comprobando mediante el Software Programm EWS, que la energía extraída a través del Diseño será de 1729 MWh para la calefacción del Hotel Casa Andina Select en Moquegua, cumpliendo así la demanda anual estimada de 1613.36 MWh, que posee el Hotel.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda para para obtener mejores propiedades térmicas del subsuelo sería llevar a cabo un ENSAYO DE RESPUESTA TÉRMICA DEL TERRENO, (ERT) con este ensayo se obtiene el parámetro más importante, la conductividad y la resistencia térmica efectivas del terreno, que dependen de los tipos de roca atravesados, los espesores de las diferentes capas, el flujo de agua subterránea, el relleno del sondeo y el material de los tubos. El ensayo se complementa con la simulación por ordenador del comportamiento que tendría el terreno en el transcurso de los años de utilización del campo de sondas geotérmicas.
- Se recomienda la implementación de un SISTEMA FOTOVOLTAICO para la alimentación de energía eléctrica hacia la bomba de calor y así tener un SISTEMA INTERCONECTADO DE ENERGÍAS RENOVABLES, con ello se reduciría en mayor proporción la facturación eléctrica por calefacción que existe en el Hotel Casa Andina Select.
- Se recomienda realizar MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS a los equipos para garantizar el buen funcionamiento de los componentes del sistema geotérmico, ello mejorará la calidad de vida de los equipos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**(GPAE), Gerencia de Políticas y Análisis Económico. 2017.** *LA INDUSTRIA DE LA ENERGÍA RENOVABLE EN EL PERÚ.* s.l. : OSINERGMIN, 2017.

**Achenbach, Kusada &. 1965.** *Diseño de Tuberías.* 1965.

**Angulo, Guillero Llopis Trillo & Vicente Rodrigo. 2001.** *GUIA DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA.* Madrid : s.n., 2001.

**Angulo, Llopis G. 2008.** *Energía Geotérmica.* 2008.

**De Andres del Barrio, Pablo. 2014.** *APLICACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA PARA LA CLIMATIZACIÓN DE UN EDIFICIO DE OFICINAS EN ALCORCÓN.* Madrid : s.n., 2014. pág. 166.

**Energía, Ministerio de. 2021.** Ministerio de Energía - Chile. [En línea] 2021. [energia.gob.cl/educacion/que-es-la-geotermia](http://energia.gob.cl/educacion/que-es-la-geotermia).

**Energietechnik, Huber.** EWS - SONDAS GEOTÉRMICAS. [En línea] <http://www.hetag.ch/software.html>.

**Espinoza, Ciro. 2014.** *METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA.* 2014.

**GUTIERREZ PACO, ABEL y QUISPE CARLO, ORLANDO. 2018.** *EVALUACIÓN DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO DE BAJA TEMPERATURA PARA APLICACIONES DE CALEFACCIÓN CON BOMBAS DE CALOR.* Puno : s.n., 2018.

**Guzman, Jose Sanchez. 2011.** *Evaluación del potencial de energía geotérmica.* Madrid : s.n., 2011.

**Hurtado de Barrera, Jacqueline. 2012.** *Comprensión holística de la metodología y la investigación.* 2012.

**INGEMMET, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. 2014.** *INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica .* Lima : s.n., 2014.

**Ji, Baorui. 2015.** *DISIPACIÓN DEL CALOR EN UN SISTEMA GEOTÉRMICO DE BAJA ENTALPÍA.* CHINA : CHINA, 2015.

**Lazaro Lozano, Cristina. 2009.** *CALEFACCIÓN POR BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA UTILIZANDO LOS REFRIGERANTES DE NUEVA GENERACIÓN.* 2009.

**Llopis Trillo, Guillermo y Rodrigo Angulo, Vicente. 201.** *Guía de la Energía Geotérmica.* 201.

**Lopez Jimeno, Carlos. 2009.** *El subsueño como fuente de Energía Instalaciones Geotérmicas.* 2009.

**Luis Lopez, Pedro. 2004.** *POBLACIÓN MUESTRA Y MUESTREO.* Cochabamba : s.n., 2004.

**Minas, Ministerio de Energías y. 2012.** *PLAN MAESTRO PARA EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL PERÚ.* LIMA : MINEM, 2012.



**Munoz Carmona, Fernando, y otros. 2014.** *DESARROLLO GEOTÉRMICO EN PERÚ: OPORTUNIDADES, CONCEPTOS, ACCIONES, RESULTADOS Y RECOMENDACIONES.* 2014.

**OSINERGMIN. 2013.** INTRODUCCIÓN A LAS ENERGÍAS RENOVABLES. *INTRODUCCIÓN A LAS ENERGÍAS RENOVABLES.* [En línea] OSINERGMIN, 2013.

[www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html](http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html).

**Segura, Salinova Carrillo. 2018.** *Evaluación Geoestadística de la Energía Geotérmica en Marangani - Cusco.* Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018.

**Selectra, Precio GAS -.** Selectra. *Que es la energía Geotérmica.* [En línea]

<https://preciogas.com/instalaciones/geotermia>.

**Vidagany Iborra, Alba. 2018.** *Diseño de Climatización, mediante geotermia de muy baja entalpía, de vivienda unifamiliar aislada, situada en la Urbanización Ausias March II de Carlet.* Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 2018.

**Vielma Sossa , Mauro Sebastián. 2013.** *DISEÑO E INTEGRACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA APLICADA A PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN RESIDENCIAL.* [ed.] Vielma Sossa Mauro Sebastián. Santiago de Chile : Tesis, 2013. pág. 128.

**WWAP. 2014.** *DESARROLLO GEOTÉRMICO EN PERÚ OPORTUNIDADES, CONCEPTOS, ACCIONES, RESULTADOS Y RECOMENDACIONES.* Lima : WWAP (United Nations World Water Assessment Programme, 2014.

**ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA**

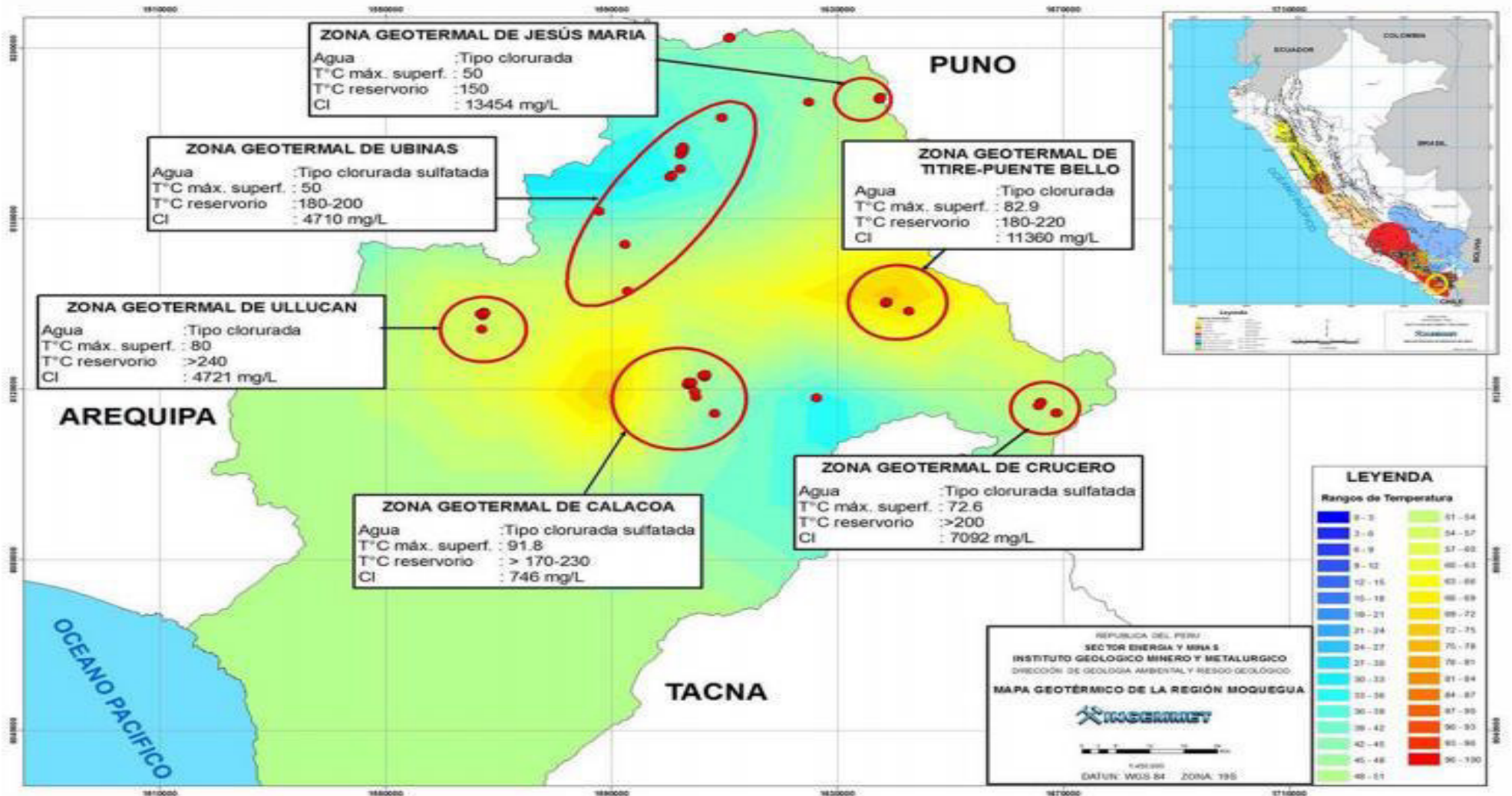
<b>DISEÑO DE UN SISTEMA GEOTÉRMICO VERTICAL DE BAJA ENTALPÍA DE 1613.36 MWh PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE CONFORT EN EL HOTEL CASA ANDINA SELECT EN MOQUEGUA</b>								
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>HIPOTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>TÉCNICAS - INSTRUMENTOS</b>	
<b>GENERAL</b>			<b>SISTEMA GEOTÉRMICO VERTICAL DE BAJA ENTALPÍA</b>	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO</b>	Reconocimiento geotécnico de campo	<b>TIPO: TECNOLÓGICA</b>	<b>DOCUMENTAL:</b>  * (Planos Topográficos del Terreno - PDF)  FUENTE: INGEMMET - PERÚ  * (Planos de Relieve del terreno)	
¿Cómo realizar el diseño de un sistema geotérmico de baja entalpía de 1613.36 MWh para mantener las condiciones de confort en el Hotel Casa Andina Select en Moquegua	Diseñar un sistema geotérmico de baja entalpía 1613.36 MWh para mantener las condiciones de confort en el Hotel Casa Andina Select en Moquegua	El diseñar un sistema geotérmico de baja entalpía de 1613.36 MWh permitirá mantener las condiciones		<b>CÁLCULO TÉRMICO</b>	Demanda del sistema			<b>DISEÑO: DESCRIPTIVO COMPARATIVO</b>
					Carga del Sistema			
				<b>SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE</b>	Selección de Bomba de Calor	<b>METODO: INDUCTIVO</b>		
					Dispositivos de Medición y Control			

condiciones de confort en el Hotel Casa Andina Select en Moquegua?		de confort en el Hotel Casa Andina Select en Moquegua.		<b>CLIMATIZACIÓN</b>	Compresor	<b>CON ENFOQUE SISTEMICO</b>	- PDF) FUENTE: INGEMMENT - PERÚ
<b>ESPECIFICOS</b>					Motor		
¿Cómo realizar el estudio geotécnico local para conocer el potencial geotérmico?	Realizar el estudio geotécnico local para conocer el potencial geotérmico.	Si realizamos el estudio geotécnico local podremos conocer el potencial geotérmico.		<b>PROGRAMA EWS</b>	Tanque Reservorio		* Estudio Geológico - Geotécnico de la Región Suroccidental del Perú FUENTE: INGEMMENT - PERÚ
¿Cómo diseñar el Sistema de distribución de energía térmica en el Hotel Casa Andina Select?	Diseñar el sistema de distribución de carga térmica en el Hotel Casa Andina Select	Si diseñamos el sistema de distribución se			Válvulas		* Plano de Planta del Hotel Casa Andina Select FUENTE: HOTEL CASA ANDINA
					Filtros		
					Selección de Tubería		
					Temperatura de Flujo		

<p>carga térmica en el Hotel Casa Andina Select en Moquegua?</p>	<p>Casa Andina Select en Moquegua.</p>	<p>logrará conocer la carga térmica que posee el Hotel Casa Andina Select en Moquegua.</p>					<p>SELECT</p> <p>* Datos Históricos del Sistema de Climatización del Hotel Casa Andina Select</p>
<p>¿Cómo seleccionar los componentes mecánicos y eléctricos del sistema de distribución de climatización en el hotel casa andina select?</p>	<p>Seleccionar los componentes mecánicos y eléctricos del sistema de distribución de climatización en el hotel casa andina select.</p>	<p>Si seleccionamos los componentes mecánicos y eléctricos lograremos realizar la distribución del sistema de climatización</p>			<p>Temperatura de Retorno</p>		<p>FUENTE: HOTEL CASA ANDINA SELECT</p>
					<p>Rendimiento de Sondas Geotérmicas</p>		<p>* Catálogos de Equipos, Dispositivos y Bomba de Calor de diferentes proveedores.</p>

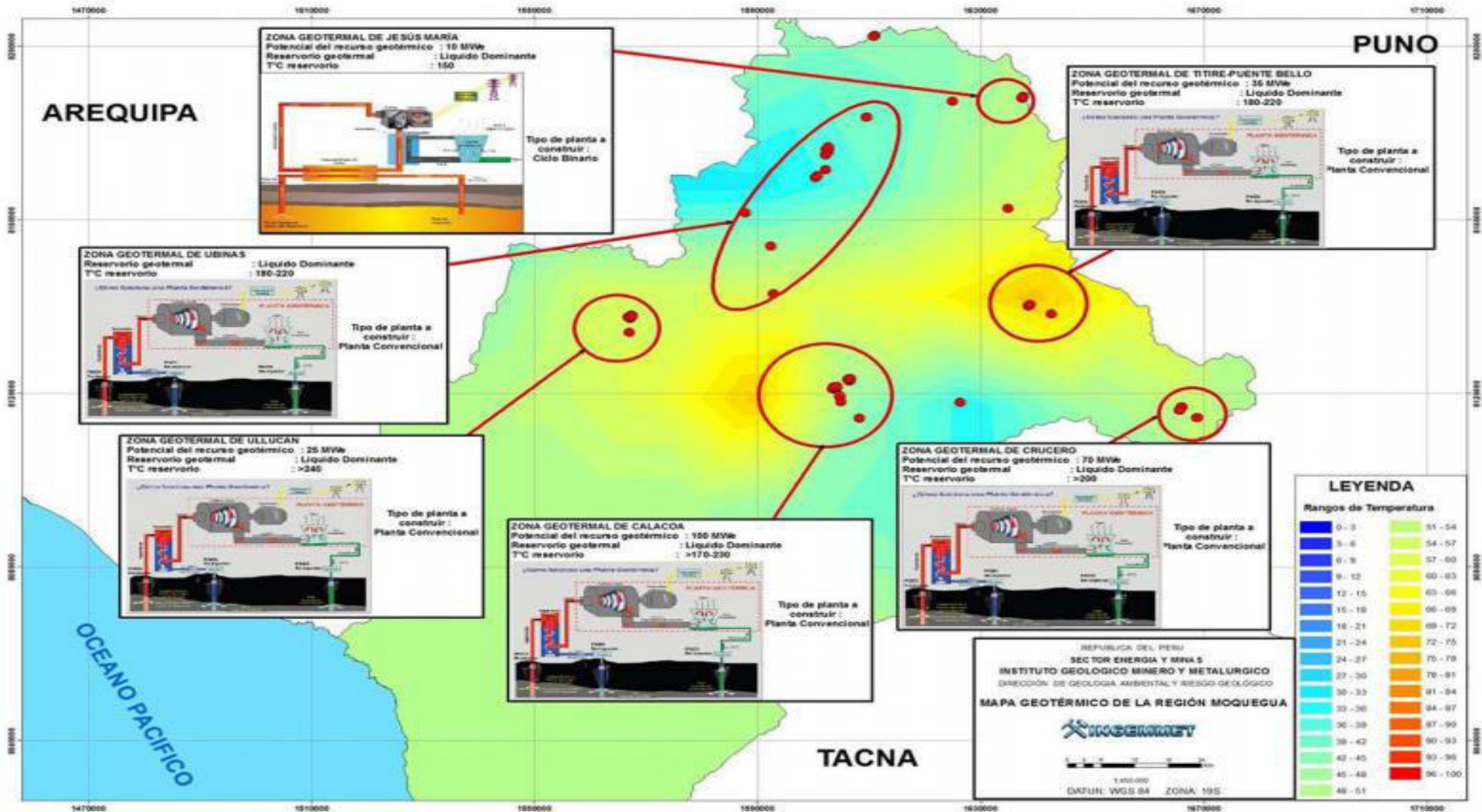
		del Hotel Casa Andina Select.					* Versión del Programa: EWS - ERDWÄRMESONDEN FUENTE:(NEU: PRO-VERSION 5.3) - <a href="http://www.hetag.ch/ews.html">www.hetag.ch/ews.html</a>
¿Como simular mediante el programa EWS las condiciones de operación del Sistema Geotérmico Propuesto?	Simular mediante el programa EWS las condiciones de operación del Sistema Geotérmico Propuesto.	El simular mediante el programa EWS nos permitirá comprobar las condiciones de operación del sistema Geotérmico Propuesto.					
			<b>CONDICIONES DE CONFORT</b>	<b>CONFORT</b>	Sensación Térmica		

## ANEXO 2 MAPA GEOTÉRMICO DE LA REGIÓN MOQUEGUA



Mapa geotérmico de la región Moquegua.

# ANEXO 3 MAPA GEOTÉRMICO POR ZONAS DE LA REGIÓN MOQUEGUA



Mapa geotérmico de la región Moquegua, donde se muestra el potencial geotérmico de cada zona geotérmica.

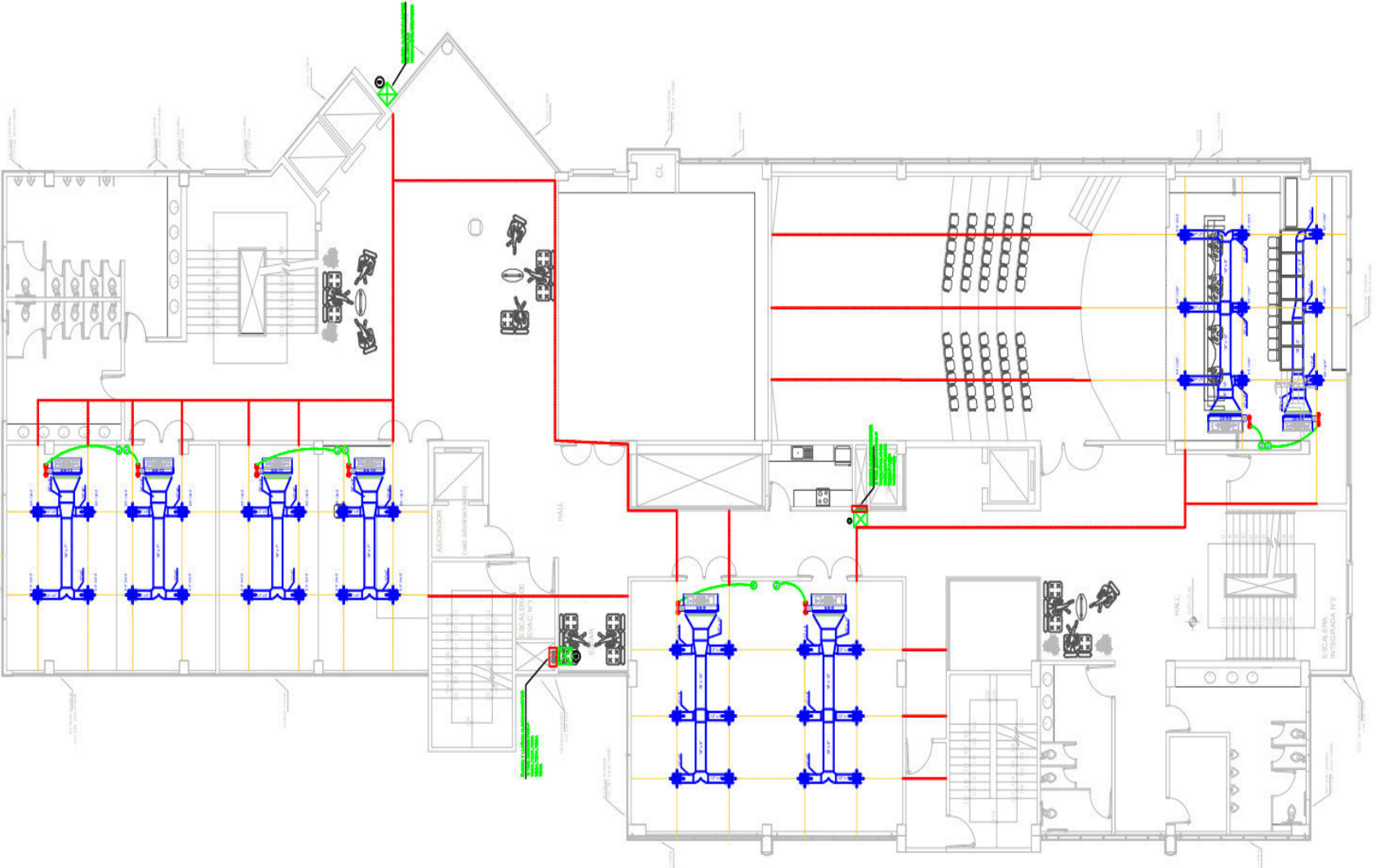
## ANEXO 4 PROPIEDADES DEL TERRENO

Tipo de roca	Conductividad térmica (W/mK)			Capacidad térmica volumétrica
	Mín.	Valor típico	Máx.	(MJ/m³K)
<b>Rocas magmáticas</b>				
Basalto	1,3	1,7	2,3	2,3-2,6
Diorita	2	2,6	2,9	2,9
Gabro	1,7	1,9	2,5	2,6
Granito	2,1	3,4	4,1	2,1-3,0
Peridotita	3,8	4	5,3	2,7
Riolita	3,1	3,3	3,4	2,1
<b>Rocas metamórficas</b>				
Gneis	1,9	2,9	4	1,8-2,4
Mármol	1,3	2,1	3,1	2
Metacuarcita		aprox. 5,8		2,1
Mica esquistos	1,5	2	3,1	2,2
Esquistos arcillosos	1,5	2,1	2,1	2,2-2,5
<b>Rocas sedimentarias</b>				
Caliza	2,5	2,8	4	2,1-2,4
Marga	1,5	2,1	3,5	2,2-2,3
Cuarcita	3,6	6	6,6	2,1-2,2
Halita	5,3	5,4	6,4	1,2
Arenisca	1,3	2,3	5,1	1,6-2,8
Limolitas y argilitas	1,1	2,2	3,5	2,1-2,4
<b>Rocas no consolidadas</b>				
Grava, seca	0,4	0,4	0,5	1,4-1,6
Grava, saturada de agua		aprox. 1,8		aprox. 2,4
Arena, seca	0,3	0,4	0,8	1,3-1,6
Arena, saturada de agua	1,7	2,4	5	2,2-2,9
Arcilla/limo, seco	0,4	0,5	1	1,5-1,6
Arcilla/limo, saturado de agua	0,9	1,7	2,3	1,6-3,4
Turba	0,2	0,4	0,7	0,5-3,8
<b>Otros materiales</b>				
Bentonita	0,5	0,6	0,8	aprox. 3,9
Hormigón	0,9	1,6	2	aprox. 1,8
Hielo (-10°C)		2,32		1,87
Plástico (PE)		0,39		
Aire (0 - 20 °C, seco)		0,02		0,0012
Acero		60		3,12
Agua (+ 10 °C)		0,58		4,19

Valores orientativos de conductividad y capacidad térmica para distintos tipos de materiales  
Fuente: Paud, D. Gethothermal energy and heat storage. 2002

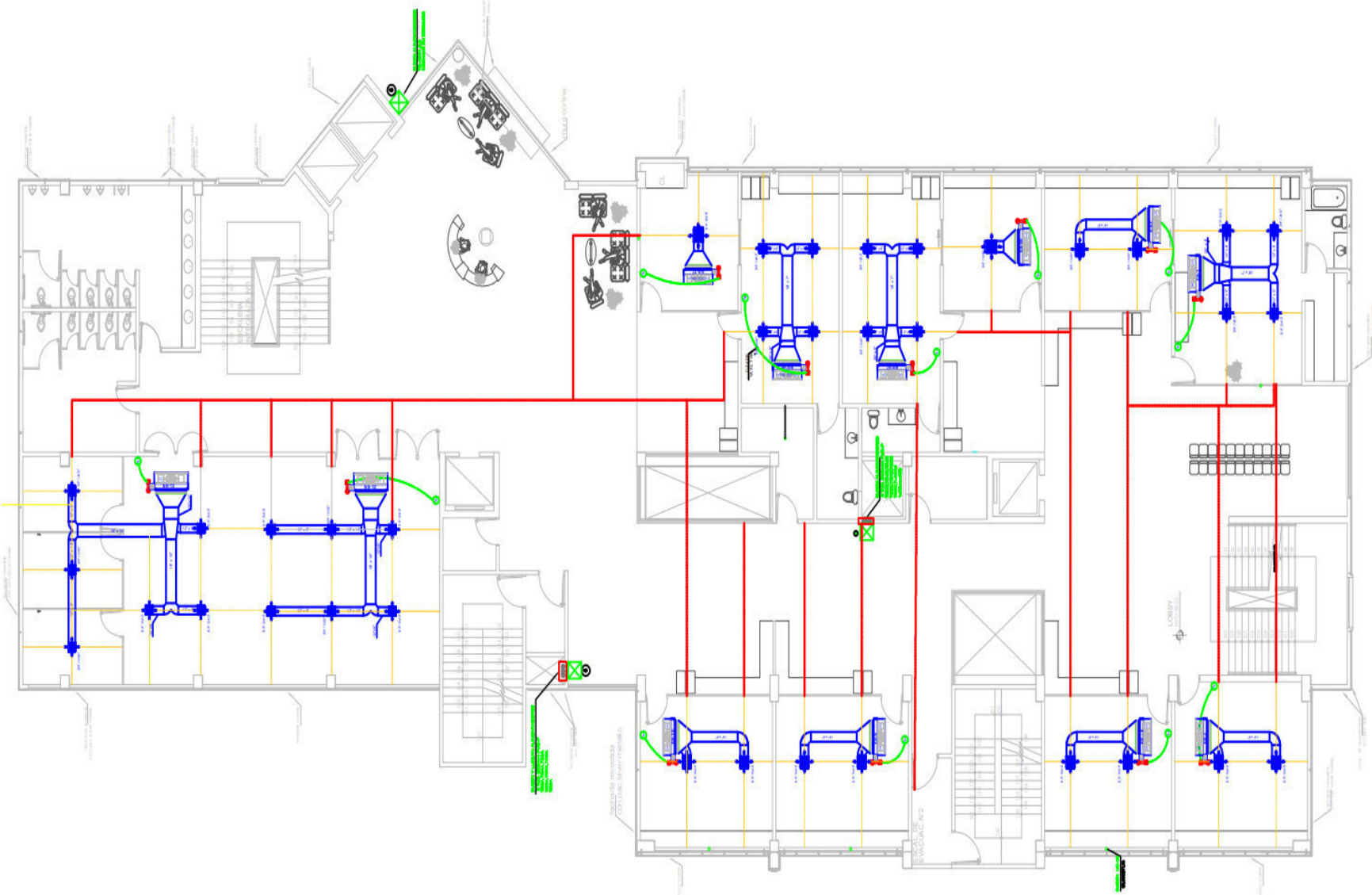


**ANEXO 5 HOTEL CASA ANDINA SELECT – PRIMER PISO**



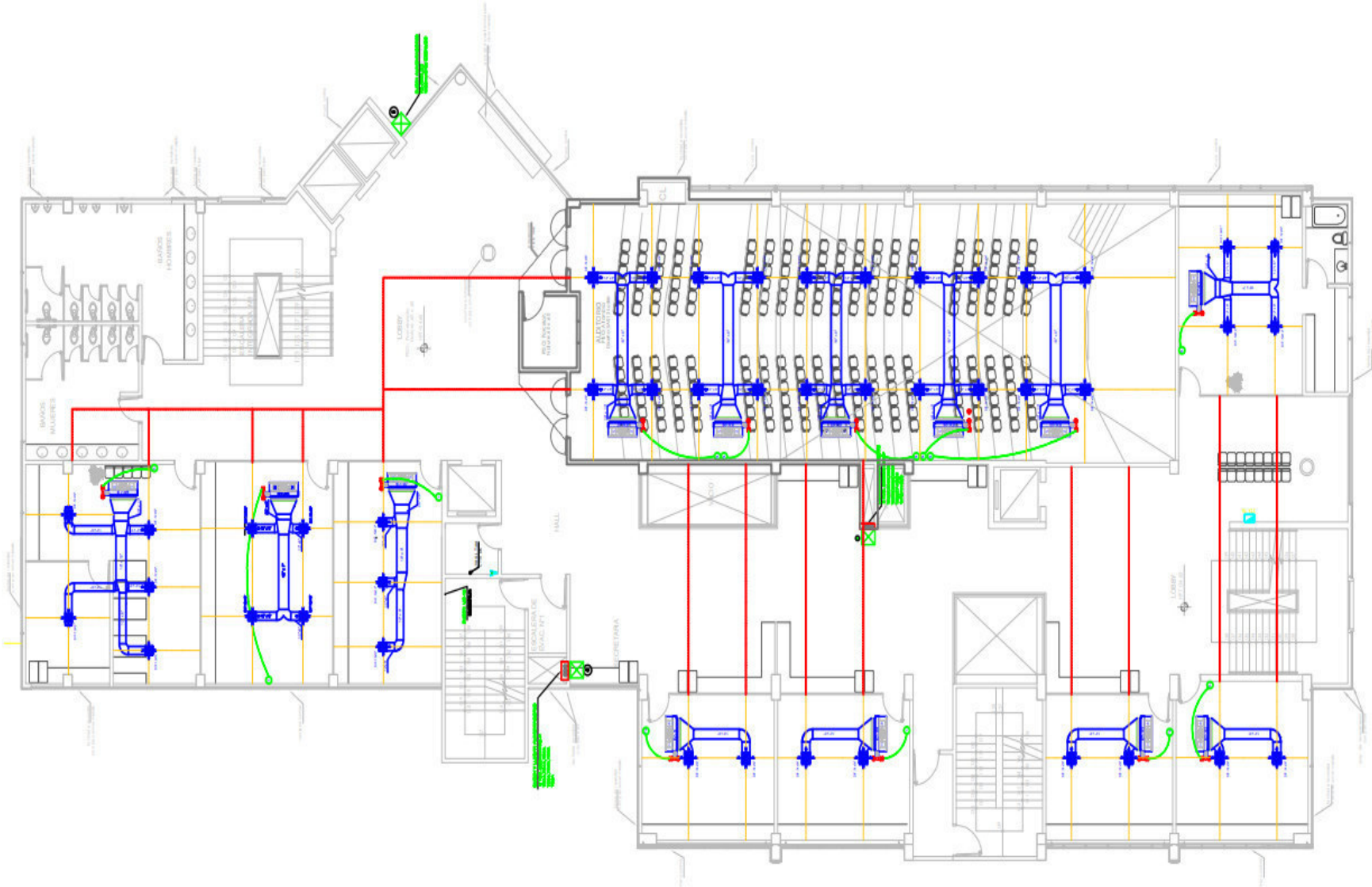
PLANTA 1° PISO

**ANEXO 6 HOTEL CASA ANDINA SELECT – SEGUNDO PISO**



PLANTA 2° PISO

**ANEXO 7 HOTEL CASA ANDINA SELECT – TERCER PISO**



PLANTA 3° PISO

## ANEXO 8 VALORES DEL HOTEL CASA ANDINA SELECT

Aire Acondicionado												
NIV.	Total (m2)	Factor Btu/hxm2	Carga Term. Btu/h	CANT.	CODIGO	CAPAC.(REAL) Btu/h	CAPAC. Btu/h	Caudal CFM	TIPO	POT. ELECT. UNIT (KWatts)	POT. ELECT. TOTAL (KWatts)	CARACTERISTICAS ELECTRICA
1	87.7	1,000	87,700	2	E6-01/E6-02	43,850	48,000	1,600	Split Ducto	5.00	10.00	220vac / 3ph / 60Hz.
1	259.0	1,200	310,800	5	E6-03/E6-04/E6-05 E6-06/E6-07	62,160	60,000	2,000	Split Ducto	6.00	30.00	220vac / 3ph / 60Hz.
1	110.1	800	88,080	2	E6-08/E6-08	44,040	48,000	1,600	Split Ducto	5.00	10.00	220vac / 3ph / 60Hz.
1	76.4	900	68,760	2	E6-09/E6-10	34,380	36,000	1,200	Split Ducto	3.70	7.40	220vac / 3ph / 60Hz.
1	76.4	900	68,760	2	E6-11/E6-12	34,380	36,000	1,200	Split Ducto	3.70	7.40	220vac / 3ph / 60Hz.
2	41.4	750	31,050	1	E7-01	31,050	36,000	1,200	Split Ducto	3.70	3.70	220vac / 3ph / 60Hz.
2	35.6	750	26,700	1	E7-02	26,700	24,000	800	Split Ducto	2.50	2.50	220vac / 1ph / 60Hz.
2	31.2	750	23,400	1	E7-03	23,400	24,000	800	Split Ducto	2.50	2.50	220vac / 1ph / 60Hz.
2	32.6	750	24,450	1	E7-04	24,450	24,000	800	Split Ducto	2.50	2.50	220vac / 1ph / 60Hz.
2	32.3	750	24,225	1	E7-05	24,225	24,000	800	Split Ducto	2.50	2.50	220vac / 1ph / 60Hz.
2	4.6	1,500	6,900	1	E7-06	6,900	12,000	400	Split Ducto	1.20	1.20	220vac / 1ph / 60Hz.
2	40.4	750	30,300	1	E7-07	30,300	36,000	1,200	Split Ducto	3.70	3.70	220vac / 3ph / 60Hz.
2	49.4	750	37,050	1	E7-08	37,050	36,000	1,200	Split Ducto	3.70	3.70	220vac / 3ph / 60Hz.
2	65.0	750	48,750	1	E7-09	48,750	48,000	1,600	Split Ducto	5.00	5.00	220vac / 3ph / 60Hz.
3	43.5	800	34,800	1	E8-01	34,800	36,000	1,200	Split Ducto	3.70	3.70	220vac / 3ph / 60Hz.
3	27.8	900	25,020	1	E8-02	25,020	24,000	800	Split Ducto	2.50	2.50	220vac / 1ph / 60Hz.
3	35.5	750	26,625	1	E8-03	26,625	24,000	800	Split Ducto	2.50	2.50	220vac / 1ph / 60Hz.
3	31.2	750	23,400	1	E8-04	23,400	24,000	800	Split Ducto	2.50	2.50	220vac / 1ph / 60Hz.
3	22.0	750	16,500	1	E8-05	16,500	18,000	600	Split Ducto	2.00	2.00	220vac / 1ph / 60Hz.
3	21.3	900	19,170	1	E8-06	19,170	18,000	600	Split Ducto	2.00	2.00	220vac / 1ph / 60Hz.
3	36.6	800	29,280	1	E8-07	29,280	36,000	1,200	Split Ducto	3.70	3.70	220vac / 3ph / 60Hz.
3	36.6	800	29,280	1	E8-08	29,280	36,000	1,200	Split Ducto	3.70	3.70	220vac / 3ph / 60Hz.
3	33.1	750	24,825	1	E8-09	24,825	24,000	800	Split Ducto	2.50	2.50	220vac / 1ph / 60Hz.
3	33.1	750	24,825	1	E8-10	24,825	24,000	800	Split Ducto	2.50	2.50	220vac / 1ph / 60Hz.
3	21.3	900	19,170	1	E8-11	19,170	24,000	800	Split Ducto	2.50	2.50	220vac / 1ph / 60Hz.
3	156.0	800	124,800	2	E8-12/E8-13	62,400	60,000	2,000	Split Ducto	6.00	12.00	220vac / 3ph / 60Hz.
<b>1,440.1</b>		<b>1,274,620</b>				<b>840,000.00</b>				<b>134.20</b>		

## ANEXO 9 FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA

### Datos técnicos - NRP 0200-0750

NRP polivalentes para sistemas de 2 tubos			0200	0240	0280	0300	0330	0350	0500	0550	0600	0650	0700	0750	
<b>Enfriamiento lado instalación</b>															
Rendimiento frigorífico	A	kW	-	-	-	-	-	-	100	103	123	140	159	184	
	E	kW	43	50	56	64	68	80	95	99	116	130	152	178	
Potencia total absorbida	A	kW	-	-	-	-	-	-	32,47	36,00	44,15	50,51	55,16	64,58	
	E	kW	14,01	16,59	18,92	20,89	23,25	27,06	35,23	38,95	48,37	55,51	61,88	70,60	
EER	A	W/W	-	-	-	-	-	-	3,07	2,87	2,80	2,78	2,88	2,85	
	E	W/W	3,05	3,00	2,95	3,05	2,91	2,94	2,68	2,53	2,39	2,35	2,46	2,52	
Caudal de agua	A	l/h	-	-	-	-	-	-	17200	17900	21300	24252	27520	31800	
	E	l/h	7400	8600	9630	11000	11700	13770	16340	17030	19874	22530	26300	30867	
Pérdidas de carga total	A	kPa	-	-	-	-	-	-	37	39	37	48	56	67	
	E	kPa	26	37	22	29	22	31	34	35	32	41	51	63	
<b>Calefacción lado instalación</b>															
Potencia térmica	A/E	kW	46	53	60	75	80	84	107	113	138	153	174	206	
Potencia total absorbida	A/E	kW	13,34	15,63	17,76	22,41	23,96	25,70	32,64	35,08	41,26	45,72	53,80	62,81	
COP	A/E	W/W	3,47	3,41	3,39	3,37	3,35	3,28	3,26	3,21	3,34	3,34	3,23	3,29	
Clase Eficiencia Energética (1)			A+	A+	A+	A+	A+	A+	-	-	-	-	-	-	
Caudal de agua	A/E	l/h	7912	9116	10300	12900	13760	14448	18232	19270	23564	26144	29756	35260	
Pérdidas de carga total	A/E	kPa	30	42	25	40	31	34	42	45	45	56	65	83	
<b>Calefacción lado ECS</b>															
Potencia térmica	A/E	kW	46	53	60	75	80	84	106	112	138	153	174	206	
Potencia total absorbida	A/E	kW	13,24	15,48	17,73	22,36	24,01	25,57	32,54	34,98	41,33	45,66	53,46	62,35	
COP	A/E	W/W	3,49	3,44	3,40	3,37	3,35	3,30	3,27	3,22	3,33	3,35	3,25	3,30	
Caudal de agua	A/E	l/h	7912	9116	10300	12900	13760	14448	18232	19264	23564	26146	29756	35260	
Pérdidas de carga total	A/E	kPa	13	17	21	33	38	19	31	34	51	49	35	50	
<b>Enfriamiento con recuperación</b>															
Rendimiento frigorífico	A/E	kW	46	52	58	69	74	87	103	111	134	148	169	203	
Potencia térmica	A/E	kW	58	67	75	88	95	111	132	143	175	194	219	262	
Potencia total absorbida	A/E	kW	13,45	15,82	18,10	20,85	22,90	25,90	31,18	33,37	43,87	48,58	53,03	64,06	
Caudal de agua lado instalación	A/E	l/h	7852	9040	10040	11868	12745	15000	17800	19195	23070	25598	29163	34925	
Pérdidas de carga lado instalación	A/E	kPa	29	41	24	33	26	36	40	44	42	52	62	81	
Caudal de agua lado sanitario	A/E	l/h	9976	11520	12900	15136	16340	19092	22704	24424	29928	33196	37496	44892	
Pérdidas de carga lado sanitario	A/E	kPa	20	27	33	46	54	33	47	55	82	78	56	81	
TER	(2)	A/E	W/W	7,72	7,58	7,39	7,55	7,41	7,67	7,57	7,62	7,05	7,06	7,33	7,27

## ANEXO 10 FICHA TÉCNICA DE LA TUBERÍA

SDR/Presión	SDR26	SDR21	SDR17	SDR13.6	SDR11
PN	6	8	10	12.5	16
Diámetro nominal DN (mm)	Espesor de pared e (mm)				
20					2.0
25					2.3
32					2.9
40				3.0	3.7
50				3.7	4.6
63				4.7	5.8
75			4.5	5.6	6.8
90		4.3	5.4	6.7	8.2
110	4.2	5.3	6.6	8.1	10.0
125	4.8	6	7.4	9.2	11.4
140	5.4	6.7	8.3	10.3	12.7
160	6.2	7.7	9.5	11.8	14.6
180	6.9	8.6	10.7	13.3	16.4
200	7.7	9.6	11.9	14.7	18.2
225	8.6	10.8	13.4	16.6	20.5
250	9.6	11.9	14.8	18.4	22.7
280	10.7	13.4	16.6	20.6	25.4
315	12.1	15.0	18.7	23.2	28.6
355	13.6	16.9	21.1	26.1	32.2
400	15.3	19.1	23.7	29.4	36.3

SDR: Presión	SDR26	SDR21	SDR17	SDR13.6	SDR11
PSI	6	8	10	12.5	16
Diámetro nominal (DN) (mm)	Espesor de pared e (mm)				
20					2.0
25					2.3
32					2.9
40				3.0	3.7
50				3.7	4.6
63				4.7	5.8
75			4.5	5.6	6.8
90		4.3	5.4	6.7	8.2
110	4.2	5.3	6.6	8.1	10.0
125	4.8	6	7.4	9.2	11.4
140	5.4	6.7	8.3	10.3	12.7
160	6.3	7.7	9.5	11.6	14.2
180	6.9	8.6	10.7	13.3	16.4
200	7.7	9.6	11.9	14.7	18.2
225	8.6	10.8	13.4	16.6	20.5
250	9.6	11.9	14.8	18.4	22.7
280	10.7	13.4	16.6	20.6	25.4
315	12.1	15.0	18.7	23.2	28.6
355	13.6	16.9	21.1	26.1	32.2
400	15.3	19.1	23.7	29.4	36.3
450	17.3	21.5	26.7	33.1	40.9
500	19.1	23.9	29.7	36.8	45.4
560	21.4	26.7	33.2	41.3	50.6
630	24.1	30.0	37.4	46.3	57.3
710	27.3	33.9	43.1		
800	30.6	38.1	47.6		
900	34.4	42.9	53.3		
1000	38.2	47.7	58.3		
1200	45.9	57.3			

Nota :

## ANEXO 11 ESPECIFICACIONES DE LA TUBERIA POLIETILENO

POLIETILENO					
Tipo	Presión (Bar)	Díam Nominal (Pul)	DN=Do Exterior (mm)	DI Interior (mm)	Kp (W/m K)
PE32	4	3/4"	20	17,6	0,40678
		1"	25	21,0	0,40678
		1 1/4"	32	28,0	0,40678
		1 1/2"	40	35,2	0,40678
		2"	50	44,0	0,40678
		2 1/2"	63	55,4	0,40678
	6	3/4"	20	16,0	0,40678
		1"	25	20,4	0,40678
		1 1/4"	32	26,2	0,40678
		1 1/2"	40	32,6	0,40678
		2"	50	40,8	0,40678
		2 1/2"	63	51,4	0,40678
	10	3/4"	20	14,4	0,40678
		1"	25	18,0	0,40678
		1 1/4"	32	23,2	0,40678
1 1/2"		40	29,0	0,40678	
2"		50	36,2	0,40678	
2 1/2"		63	45,8	0,40678	
PE50A	6	3/4"	-	-	0,43
		1"	25	21,0	0,43
		1 1/4"	32	28,0	0,43
		1 1/2"	40	35,2	0,43
		2"	50	44,0	0,43
		2 1/2"	63	55,4	0,43
	10	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	20,4	0,43
		1 1/4"	32	26,2	0,43
		1 1/2"	40	32,6	0,43
		2"	50	40,8	0,43
		2 1/2"	63	51,4	0,43
	16	3/4"	-	-	0,43
		1"	-	-	0,43
		1 1/4"	32	23,2	0,43
1 1/2"		40	29,0	0,43	
2"		50	36,2	0,43	
2 1/2"		63	45,8	0,43	



POLIETILENO					
Tipo	Presión (Bar)	Diam Nominal (Pul)	DN=Do Exterior (mm)	DI Interior (mm)	Kp (W/m K)
PE50B	6	3/4"	-	-	0,29
		1"	25	21,0	0,29
		1 1/4"	32	28,0	0,29
		1 1/2"	40	35,2	0,29
		2"	50	44,0	0,29
		2 1/2"	63	55,4	0,29
	10	3/4"	20	16,0	0,29
		1"	25	20,4	0,29
		1 1/4"	32	26,2	0,29
		1 1/2"	40	32,6	0,29
		2"	50	40,8	0,29
		2 1/2"	63	51,4	0,29
	16	3/4"	20	14,4	0,29
		1"	25	18,0	0,29
		1 1/4"	32	23,2	0,29
		1 1/2"	40	29,0	0,29
		2"	50	36,2	0,29
		2 1/2"	63	45,8	0,29
PE80	6	3/4"	-	-	0,43
		1"	-	-	0,43
		1 1/4"	-	-	0,43
		1 1/2"	40	35,4	0,43
		2"	50	45,2	0,43
		2 1/2"	63	57,0	0,43
	10	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	21,0	0,43
		1 1/4"	32	27,2	0,43
		1 1/2"	40	34,0	0,43
		2"	50	42,6	0,43
		2 1/2"	63	53,6	0,43

POLIETILENO					
Tipo	Presión (Bar)	Diam Nominal (Pul)	DN=Do Exterior (mm)	Di Interior (mm)	Kp (W/m K)
PE100	6	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	21,0	0,43
		1 1/4"	32	28,0	0,43
		1 1/2"	40	35,4	0,43
		2"	50	45,4	0,43
		2 1/2"	63	58,2	0,43
	10	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	21,0	0,43
		1 1/4"	32	27,2	0,43
		1 1/2"	40	35,2	0,43
		2"	50	44,0	0,43
		2 1/2"	63	55,4	0,43
	16	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	20,4	0,43
		1 1/4"	32	26,2	0,43
		1 1/2"	40	32,6	0,43
		2"	50	40,8	0,43
		2 1/2"	63	51,4	0,43
	25	3/4"	-	-	0,43
		1"	25	18,0	0,43
		1 1/4"	32	23,2	0,43
		1 1/2"	40	29,0	0,43
		2"	50	36,2	0,43
		2 1/2"	63	45,8	0,43

## ANEXO 12 PROPIEDADES DEL FLUIDO

	Agua	Etilenglicol	Propilenglicol
Densidad a 20 °C (g/cm <sup>3</sup> )	1	0,9259	0,8630
Punto congelación °C (30% volumen)	0	-13	-12
Punto ebullición °C	100	197	187
Calor Específico a 15 °C (kJ/Kg.K)	4,187	2,185	2,50371
Viscosidad a 0 °C (Pa.s) ·10 <sup>3</sup>	1,79	57,4	243
Viscosidad a 20 °C (Pa.s) ·10 <sup>3</sup>	1,01	20,9	60,5
Viscosidad a 40 °C (Pa.s) ·10 <sup>3</sup>	0,655	9,5	18,0
Conductividad térmica a 20 °C (kW/m.K) ·10 <sup>3</sup>	0,60	0,26	0,20

Propiedades físicas de los fluidos

### ANEXO 13 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

				<b>ESTRATEGIA C</b>	
ALCANCE	PRECIO(\$)	ALCANCE	PRECIO(\$)	ALCANCE	PRECIO(\$)
PERMISOS DE TRABAJO	<b>\$90,000.00</b>	OBRAS CIVILES	\$28,000.00	UTILIZAR AMBOS SISTEMAS: REALIZAR EL MANTENIMIENTO ELECTRICO REALIZAR LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA GEOTÉRMICO	<b>\$612,000.00</b>
OBRAS CIVILES		PERMISOS DE TRABAJOS (LICENCIA DE CONSTRUCCIÓN , EIA)	\$2,914.29		
OBRAS ELECTRICAS		OBRAS MECÁNICAS	\$20,000.00		
OBRAS MECANICAS		OBRAS ELECTRICAS	\$8,571.43		
OBRAS DE INSTRUMENTACION		ADQUISICION DE LICENCIAS	\$6,857.14		
OBRAS DE CONTROL		OBRAS DE INSTRUMENTACION Y CONTROL	\$4,673.12		
MANTENIMIENTO INICIAL	\$0.00	MANTENIMIENTO INICIAL	\$28,142.91		
RENOVACION DE PERMISOS INICIALES	\$0.00	ADQUISICION DE EQUIPOS	\$23,552.82		
	<b>\$90,000.00</b>		<b>\$122,711.70</b>	<b>INVERSION TOTAL INICIAL</b>	<b>\$612,000.00</b>

<b>UNICA INVERSION INICIAL</b>	<b>\$0.00</b>	<b>UNICA INVERSION INICIAL</b>	<b>\$56,368.85</b>	<b>UNICA INVERSIÓN INICIAL</b>	<b>\$612,000.00</b>
<b>COSTO RECURRENTE POR TEMPORADA</b>	<b>\$90,000.00</b>	<b>COSTO RECURRENTE POR TEMPORADA</b>	<b>\$66,342.86</b>	<b>COSTO RECURRENTE x TEMPORADA</b>	<b>\$12,240.00</b>

## ANEXO 14 RETORNO DE INVERSIÓN

RETORNO DE INVERSIÓN - DISEÑO DE UN SISTEMA GEOTÉRMICO VERTICAL DE 1613.36 kWh PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE CONFORT DEL HOTEL CASA ANDINA SELECT						
Nº AÑOS	SISTEMA CONVENCIONAL	INVERSIÓN	SISTEMA GEOTÉRMICO	INVERSIÓN	AMBOS SISTEMAS	INVERSIÓN
T1	\$ 90,000.00	\$ 90,000.00	\$ 122,711.70	\$ 122,711.70	\$ 612,000.00	\$ 612,000.00
T2	\$ 90,000.00	\$ 180,000.00	\$ 66,342.86	\$ 189,054.56	\$ 12,240.00	\$ 624,240.00
T3	\$ 90,000.00	\$ 270,000.00	\$ 66,342.86	\$ 255,397.42	\$ 12,240.00	\$ 636,480.00
T4	\$ 90,000.00	\$ 360,000.00	\$ 66,342.86	\$ 321,740.28	\$ 12,240.00	\$ 648,720.00
T5	\$ 90,000.00	\$ 450,000.00	\$ 66,342.86	\$ 388,083.13	\$ 12,240.00	\$ 660,960.00
T6	\$ 90,000.00	\$ 540,000.00	\$ 66,342.86	\$ 454,425.99	\$ 12,240.00	\$ 673,200.00
T7	\$ 90,000.00	\$ 630,000.00	\$ 66,342.86	\$ 520,768.85	\$ 12,240.00	\$ 685,440.00
T8	\$ 90,000.00	\$ 720,000.00	\$ 66,342.86	\$ 587,111.70	\$ 12,240.00	\$ 697,680.00
T9	\$ 90,000.00	\$ 810,000.00	\$ 66,342.86	\$ 653,454.56	\$ 12,240.00	\$ 709,920.00
T10	\$ 90,000.00	\$ 900,000.00	\$ 66,342.86	\$ 719,797.42	\$ 12,240.00	\$ 722,160.00
T11	\$ 90,000.00	\$ 990,000.00	\$ 66,342.86	\$ 786,140.28	\$ 12,240.00	\$ 734,400.00
T12	\$ 90,000.00	\$ 1,080,000.00	\$ 66,342.86	\$ 852,483.13	\$ 12,240.00	\$ 746,640.00
T13	\$ 90,000.00	\$ 1,170,000.00	\$ 66,342.86	\$ 918,825.99	\$ 12,240.00	\$ 758,880.00
T14	\$ 90,000.00	\$ 1,260,000.00	\$ 66,342.86	\$ 985,168.85	\$ 12,240.00	\$ 771,120.00

