



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño de un sistema de aprovechamiento de calor geotérmico para
bloque de habitaciones en complejo turístico Terjamanco

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingenieras Mecánicas

Presentado por:

Sofia Daniela Coppiano García

Yesika Alejandra Gamarra Muñoz

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado en memoria de mi padre Plutarco Coppiano, donde se encuentre sé que está muy orgulloso de mi. A mi madre María García sin su esfuerzo, apoyo y consejos no hubiera logrado el objetivo. A mis hermanos César y María Soledad Coppiano por ser fuente de inspiración a lo largo de mi vida. A todas las niñas y mujeres involucradas en el mundo STEM, no tengas miedo, todas podemos demostrar que somos igual de capaces y necesarias para despuntar en el área de la ingeniería.

Sofía Coppiano García

A mis padres Yesika y Walter quienes han sentado las bases de amor, constancia y superación en mi vida, educándome con su ejemplo desde siempre, lo son todo en mi vida, este trabajo es para ustedes.

A mis hermanas Marthita y Alicia por permitirme ser su guía como hermana mayor, por su paciencia, consejos y siempre apoyarme.

A Christian por estar a mi lado, por tu ayuda, por tu confianza en mí y apoyo para seguir adelante a pesar de adversidades.

A mis chiquitas en el cielo, espero estén orgullosas de mí.

Yesika Gamarra Muñoz

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros agradecimientos al PhD. Guillermo Soriano, por habernos guiado en el desarrollo del proyecto, a la Ing. Andrea Boero por darnos la motivación y consejos en el trayecto del curso, además a la Asociación Geotérmica Ecuatoriana y al complejo turístico Terjamanco por abrirnos las puertas al desarrollo de este tema de investigación. Por último, aprovechamos este espacio para agradecer a nuestros compañeros, amigos de la carrera, a la universidad y al ASHRAE ESPOL Student Branch, sin el apoyo de ustedes nada de esto fuera posible.

Sofia C. y Yesika G.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Yesika Gamarra Muñoz* y *Sofia Coppiano García* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Sofia Coppiano García

Yesika Gamarra Muñoz

EVALUADORES

.....
Andrea Boero

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Guillermo Soriano

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El desarrollo de esta investigación surge de la necesidad de ofrecer un ambiente de confort a los huéspedes y turistas que frecuentan las instalaciones haciendo uso de la fuente de agua termal de baja entalpia que poseen. Se presenta un diseño de sistema de calefacción y agua caliente sanitaria para un nuevo bloque de habitaciones, la instalación de estos se convierte en una prioridad dado a las condiciones climáticas y geográficas del sitio. El estudio desarrollado en este proyecto abarcó el cálculo de cargas térmicas y selección de materiales no tradicionales que disminuyen la carga de calefacción en las habitaciones, se diseñó un intercambiador tipo serpiente que aprovecha el calor que posee la fuente de agua a 58°C que sirve para calentar los tanques que suministran calor al sistema de calefacción y un porcentaje del agua caliente de uso sanitario. El sistema de calefacción seleccionado fue pisos radiantes siendo el más óptimo debido a la temperatura de la fuente, mantenimiento y consumo energético, la carga térmica de calefacción fue 0.875kW por habitación. La fuente geotérmica mediante el intercambiador de calor aporta 65kW. Además, se hizo un análisis energético donde se estableció una comparación entre los sistemas convencionales y los propuestos (en construcción y calefacción) reflejando que se puede ahorrar hasta un 82.4% en consumo de electricidad y GLP. Se concluye que el uso de energías renovables como la geotermia en conjunto con los sistemas seleccionados ayudan a reducir las emisiones de CO₂, generando un mayor impacto en el medio ambiente.

Palabras Clave: geotermia, calefacción, transferencia de calor, energía, materiales de construcción.

ABSTRACT

The development of this research arises from the need to offer an environment of comfort to guests and tourists who frequent the facilities by making use of the low enthalpy thermal water source they have. A heating and hot water system design is presented for a new block of rooms, the installation of which becomes a priority given the climatic and geographical conditions of the site. The study developed in this project included the calculation of thermal loads and the selection of non-traditional materials that reduce the heating load in the rooms. A coil type exchanger was designed to take advantage of the heat from the water source at 58°C, which is used to heat the tanks that supply heat to the heating system and a percentage of the hot water for sanitary use. The heating system selected was radiant floor heating, which was the most optimal due to the source temperature, maintenance, and energy consumption; the heating thermal load was 0.875kW per room. The geothermal source through the heat exchanger provides 65kW. In addition, an energy analysis was made where a comparison between the conventional and the proposed systems (in construction and heating) was established, showing that savings of up to 82.4% in electricity and LPG consumption can be achieved. It is concluded that the use of renewable energies such as geothermal energy in conjunction with the selected systems helps to reduce CO2 emissions, generating a greater impact on the environment.

Key words: *geothermal, heating, heat transfer, energy, construction materials.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	VII
ABSTRACT.....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	I
ABREVIATURAS	IV
SIMBOLOGIA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Definición del Problema	1
1.2 Justificación del proyecto.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Información geológica de Terjamanco.....	4
1.4.2 Energía renovable: Geotermia.....	4
1.4.3 Tipo de geotermia y sus aplicaciones.....	5
1.4.4 Sistemas de captación de energía geotérmica	7
1.4.5 Sistemas de Calefacción: Piso radiante	10
1.4.6 Sistema de agua caliente sanitaria.....	10
CAPÍTULO 2	12
2. Metodología	12
2.1 Metodología de Diseño	12
2.2 Requerimientos de diseño del cliente.....	13

2.3	Condiciones del Climáticas del Sitio.....	14
2.4	Alternativas de solución	15
2.5	Criterios de Selección	18
2.6	Matriz de decisión.	18
2.7	Diseño Detallado.....	20
2.8	Cargas térmicas	21
2.9	Pisos Radiantes	22
2.9.1	Tipo de Piso Radiante	22
2.9.2	Patrón de tubería de piso radiante.....	23
2.9.3	Zonificación.....	23
2.9.4	Tasa de flujo de calor	23
2.9.5	Longitud de circuito	24
2.9.6	Temperatura radiante media [T_{rm}]	24
2.9.7	Temperatura operativa [T_o]	25
2.10	Circuito cerrado de agua superficial	25
2.10.1	Dimensionamiento de los tanques.....	25
2.10.2	Coeficiente global de transferencia de calor	26
2.10.3	Resistencias térmicas	27
2.10.4	Coeficiente de convección	28
2.10.5	Longitud de la tubería para el intercambiador	29
CAPÍTULO 3		31
3.	Resultados y análisis.....	31
3.1	Comparación de materiales de construcción convencional vs construcción propuesta.....	31
3.2	Diseño de Sistema de Calefacción por Piso Radiante	34
3.3	Componentes del Sistema de Calefacción Piso Radiante	36
3.4	Dimensionamiento de Tanque de Expansión para piso radiante	38
3.5	Dimensionamiento de Bomba de Recirculación de Piso Radiante	39

3.6	Dimensionamiento del tanque de almacenamiento de agua caliente para piso radiante.....	40
3.7	Dimensionamiento del tanque de almacenamiento de agua caliente para red hidrosanitaria.....	41
3.8	Dimensionamiento del intercambiador de calor tipo serpentín.....	43
3.9	Dimensionamiento de bomba de recirculación del circuito primario y circuito ACS. 46	
3.10	Cotización del Proyecto	47
3.11	Análisis económico del proyecto	49
3.12	Emisiones de CO ₂ : Sistema Convencional de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria vs Sistema Propuesto de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria.....	52
3.12.1	Viabilidad Económica del Proyecto.....	53
CAPÍTULO 4		55
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
4.1	Conclusiones.....	55
4.2	Recomendaciones.....	57
BIBLIOGRAFÍA		58
5.	Bibliografía	58
APÉNDICES		62

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
GLP	Gas licuado de petróleo
ACS	Agua caliente Sanitaria
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
EPS	Poliestireno expandido
HDPE	<i>High Density PolyEthylene</i>
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
VAN	Valor actual neto
TIR	Tasa Interna de retorno
ACCA	<i>Air Conditioning Contractors of America</i>
ESMAP	<i>Energy Sector Management Assistance Program</i>
NEC	Norma Ecuatoriana de la construcción
MIDUVI	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
PEX	<i>Cross-Linked Polyethylene</i>
LMTD	Temperatura logarítmica
CLTD	<i>Temperature different load calculation</i>

SIMBOLOGIA

CO ₂	Dióxido de Carbono
GPG	Grano por galón
GLB	Global
PPM	Parte por millón
M	Metros
GPM	Galones por minuto
KW	Kilowatt
W	Watt
Kg	Kilogramo
l	Litros
min	Minutos
°C	Grados centigrados
°F	Grados fahrenheit
Hp	Horsepower
ft	Pies (feet)
mm	Milímetros
cm	Centímetros
K	Kelvin
J	Joule
H ₂ O	Agua
pulg	Pulgadas
gal	Galones
bar	Bares
H	Hora
unid	Unidad
\$	Signo de dolar
ΔT	Variación de temperature
U	Coeficiente Global de la transferecia de calor

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Distribución de Consumo Energético en Hoteles	3
Figura 1.2. Usos de la energía geotérmica según la temperatura de la fuente	4
Figura 1.3 Emisiones de CO2 para diferentes fuentes de energía.....	5
Figura 1.4. Energía Geotérmica según tipo de aplicación	6
Figura 1.5. Sistema intercambio de calor de agua subterránea	7
Figura 1.6 Esquema sistema circuito abierto de pozo de columna permanente.....	8
Figura 1.7. Esquema sistema de circuito cerrado de pozo vertical	9
Figura 1.8. Esquema sistema de circuito cerrado subterráneo horizontal	9
Figura 1.9 Esquema sistema de circuito cerrado de agua superficial	9
Figura 2.1 Diagrama de flujo 'Metodología del diseño'	13
Figura 2.2 Distribución del nuevo bloque de habitaciones.....	14
Figura 2.3. Variación de la temperatura en Papallacta	15
Figura 2.4 Alternativa 1 'Circuito abierto de agua superficial híbrido'	16
Figura 2.5 Alternativa 2 'Circuito abierto de agua superficial'	17
Figura 2.6 Alternativa 3 'Circuito cerrado de agua superficial'	17
Figura 2.7 Diagrama esquemático del sistema cerrado.....	21
Figura 2.8. Esquema de piso radiante empotrado	22
Figura 3.1 Carga térmica materiales convencionales vs materiales propuestos	32
Figura 3.2. Componentes piso radiante.....	35
Figura 3.3. Esquema de planta temperatura del circuito.....	35
Figura 3.4. Vista 3D de circuitos piso radiante.	35
Figura 3.5. Esquema de componentes hidráulicos para calefacción por piso radiante..	37
Figura 3.6. Diagrama de sistema de control piso radiante.....	38
Figura 3.7. Esquema transversal de la tubería.....	44
Figura 3.8 Diagrama de instalación de los intercambiadores	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Parámetros de fuente geotérmica	14
Tabla 2.2 Parámetros de diseño construcción	14
Tabla 2.3 Condiciones exteriores.....	15
Tabla 2.4 Condiciones de diseño.....	15
Tabla 2.5 Tabla de calificación para matriz de decisión.....	18
Tabla 2.6 Matriz de selección de alternativas de diseño.....	20
Tabla 3.1 Materiales Convencionales.....	31
Tabla 3.2 Materiales Propuestos.....	31
Tabla 3.3. Comparación de resultados de Carga Térmica y Tasa de Flujo.	32
Tabla 3.4. Materiales de Construcción Convencionales	33
Tabla 3.5. Materiales de Construcción Propuestos.....	33
Tabla 3.6. Detalle del Panel	34
Tabla 3.7. Detalle de Patrón Piso Radiante.....	34
Tabla 3.8 Componentes de piso radiante	34
Tabla 3.9. Resumen de Resultados Piso Radiante.....	36
Tabla 3.10 Resultados de Sistema Piso Radiante por habitación	36
Tabla 3.11. Componentes hidráulicos del sistema de calefacción	37
Tabla 3.12. Componentes de control para piso radiante	38
Tabla 3.13 Parámetros de Selección de Tanque de Expansión	38
Tabla 3.14. Dimensionamiento Tanque de Expansión.....	39
Tabla 3.15. Parámetros de selección de bomba recirculación	39
Tabla 3.16. Bomba de recirculación seleccionada	39
Tabla 3.17 Selección del ablandador.....	40
Tabla 3.18 Parámetros de diseño del tanque.....	40
Tabla 3.19 Dimensionamiento de tanque de agua para piso radiante	40
Tabla 3.20 Consumo de agua caliente	41
Tabla 3.21 Dimensionamiento del Tanque ACS.....	43
Tabla 3.22 Selección del tanque ACS	43
Tabla 3.23 Selección del calentador auxiliar para ACS	43
Tabla 3.24 Resistencias Térmicas	44
Tabla 3.25. Coeficientes de transferencia de calor	44
Tabla 3.26 Capacidad del intercambiador	45
Tabla 3.27 Capacidad de la piscina	45

Tabla 3.28 Parámetros de bomba de recirculación	46
<i>Tabla 3.29</i> Cotización del sistema de aprovechamiento de piso radiante	47
Tabla 3.30 Cotización sistema convencional para calefacción y agua sanitaria.....	49
Tabla 3.31 Sistema Convencional de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria	50
Tabla 3.32 Sistema Propuesto de Calefacción y Agua Sanitaria	50
Tabla 3.33 Consumo Eléctrico Anual y Costo Eléctrico Anual.....	51
Tabla 3.34 Consumo GLP Anual y Costo GLP Anual	51
Tabla 3.35 Costo de Energía Anual: Sistema Convencional vs Sistema Propuesto	51
Tabla 3.36. Costo de energía anual Sistema convencional vs Sistema propuesto sin subsidio	52
Tabla 3.37 Emisiones de CO2: Sistema Convencional de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria vs Sistema Propuesto de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria	52
Tabla 3.38. Ahorro de Emisiones de CO2: Sistema Propuesto.....	52
Tabla 3.39. Ahorro de Emisiones de CO2	53
Tabla 3.40. Flujo de operaciones anuales.....	53
Tabla 3.41. Rentabilidad del proyecto con subsidio	54
Tabla 3.42 Flujo de operación anual.....	54
Tabla 3.43 Rentabilidad del proyecto sin subsidio de energía.....	54

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En el páramo de la provincia de Napo a 68 km al sureste de la ciudad de Quito vía a Papallacta se encuentra el complejo turístico de aguas termales 'Terjamanco', situado a una altitud de 3375 msnm con coordenadas geográficas 0° 22' 28" S y -78° 10' 9" O. La zona tiene temperaturas que oscilan entre 4°C a 19°C durante el año. En las instalaciones se brindan servicios turísticos como pesca deportiva, caminatas, áreas verdes, paseos a canoa, entre otros, pero su principal afluencia de turistas se debe al uso de siete piscinas termales que son alimentadas por una fuente natural de agua a 58 °C. Además, el complejo cuenta con un bloque de seis habitaciones que fueron construidas usando materiales y componentes tradicionales. En la actualidad para calefactar las habitaciones usan radiadores eléctricos y para suministrar agua caliente se utilizan calefones a GLP. Sin embargo, los sistemas antes mencionados no brindan la temperatura de confort necesaria, por lo que la demanda de huéspedes es baja. El complejo desea reducir los altos costos de energía que requiere el sistema de calefacción actual, por lo que se plantea la posibilidad de usar energías renovables como fuente de alimentación para los sistemas.

1.1 Definición del Problema

Terjamanco es una comuna formada por 54 familias ubicadas en la provincia del Napo. Tienen un complejo turístico de piscinas y tratamientos con aguas termales que llegan a más de 58°C, y que se dejan en una piscina durante un tiempo para que enfrién y luego se pasan a otras piscinas para que sean aptas para bañarse. Las aguas termales están cargadas de minerales que precipitan a lo largo de las tuberías y las piscinas. El complejo cuenta con 6 habitaciones con capacidad para 22 personas y con planes de expansión futura. Las habitaciones cuentan con radiadores y duchas eléctricas para calentarse. Dentro de los planes de la empresa se encuentra la construcción de un nuevo bloque de habitaciones de hotel (10 habitaciones), por lo que se plantea diseñar un sistema alternativo que permita ahorrar en consumo eléctrico y use energías renovables.

1.2 Justificación del proyecto

La necesidad de reducir las emisiones de CO₂, la crisis energética mundial que se produce por la dependencia de los combustibles fósiles y los avances en la tecnología, son impactos primordiales para fomentar el uso de la energía geotérmica. También se da paso a la sostenibilidad en el ámbito de seguridad del suministro de energía, potencial económico y conservación del medio ambiente. (Martín, 2015).

Ecuador se encuentra en el cinturón de Fuego del Pacífico, por ende, es foco importante de áreas geotérmicas dadas las características geológicas.

Esto incide en que las aguas subterráneas posean un grado geotérmico alto que en la superficie de la tierra se reflejan como aguas calientes por ello, nuestro país es rico en aguas termales y minerales (INAMHI, 2013). Terjamanco posee una fuente de agua termal de baja entalpia (58°C) y se puede aprovechar este recurso natural para satisfacer la demanda de energía que requiera el sistema de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), de esta manera se puede usar la energía geotérmica misma que posee un potencial que no se ha explotado en el país, influyendo como alternativa favorable en la matriz energética (REMIGIO, 2012).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de aprovechamiento de energía geotérmica mediante el uso del calor producido por las aguas termales para calentar agua que satisfaga la carga de calefacción y agua caliente sanitaria necesaria en un bloque de 10 habitaciones en el complejo turístico Terjamanco.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar la demanda energética mediante la selección de los materiales de construcción.
- Diseñar un sistema de calefacción y ACS para satisfacer la demanda con el recurso energético considerando la disponibilidad del recurso natural.
- Comparar el desempeño energético y ambiental del sistema propuesto vs el sistema convencional.
- Realizar un análisis económico del sistema propuesto para evaluar la rentabilidad del proyecto.

1.4 Marco teórico

En la industria hotelera el consumo eléctrico por climatización y agua caliente suman el 55% de consumo energético como se muestra en la Figura 1.1 (Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, 2017), por lo que supone uno de los gastos principales que afecta la rentabilidad del hotel. En el Ecuador el sector hotelero es el cuarto sector que mayor consumo energético le generan al país. (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables del Ecuador, 2019).

Dentro del sector hotelero se pueden usar energías renovables para proveer climatización y agua caliente mediante la energía solar, geotérmica y la biomasa (United Nations Environment Programme (UNEP), 2003), el uso de estas energías permite ahorrar costos, así como evitar la liberación de CO₂ al ambiente, de acuerdo con (Hotel Energy Solutions, 2011) entre 160-200 kg por m² de CO₂ se emiten por habitación en un hotel por lo que en la industria hotelera ecuatoriana se debe incorporar el uso de energías renovables.

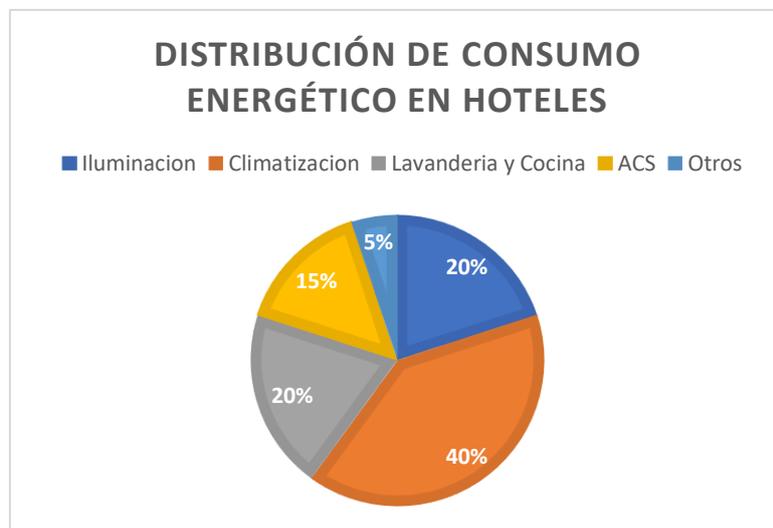


Figura 1.1. Distribución de Consumo Energético en Hoteles

1.4.1 Información geológica de Terjamanco

En la actualidad el uso de la geotermia en el Ecuador es limitado a piscinas termales y balnearios. Dado el estudio de reconocimiento geotérmico en el país (Masabanda, 2013), se establece que existen diversos puntos geotérmicos debido al cinturón de fuego que cruza en la Cordillera de los Andes. En el noreste del Ecuador se encuentra Jamanco (ver Apéndice A), consta de una fuente de geotérmica hipertérmica, al estar rodeado de volcanes, dando paso a la generación de fuentes térmicas de altas temperaturas ubicadas en el valle del río Tambo.

Dentro de la localidad de Jamanco existen dos fuentes de agua termal a una temperatura de 74°C, el agua posee una dureza de 699 mg /L, conductividad de 7470 us/cm, un pH de 7,8 y una alcalinidad de 415, es decir que la concentración de carbonato de calcio se encuentra por encima de 175ppm haciendo el tipo de agua sea clorurada sódica (INAMHI, 2013).

1.4.2 Energía renovable: Geotermia

La geotermia es definida como la energía almacenada debajo de la superficie de la tierra en forma de energía térmica, que se puede encontrar en forma de aguas termales, geiser, fumarolas y otras fallas naturales. (Glassley, 2018)

El uso de energía geotérmica presenta ventajas en cuanto a sostenibilidad y eficiencia de reducción de costos por uso de energía, es una fuente de energía constante en el tiempo que permite la producción electricidad sin depender de factores climatológicos. (Lukawski, 2018). Por otro lado, la energía geotérmica es una energía limpia con baja emisión gases de efecto invernadero CO₂. Se presenta en la Figura 1.2 las emisiones de CO₂ según el tipo de energía.

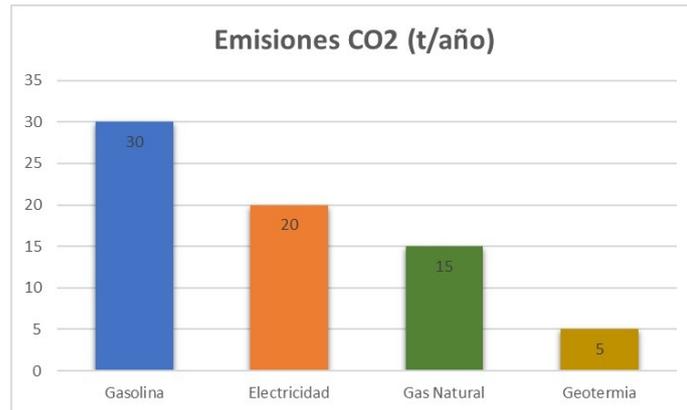


Figura 1.2 Emisiones de CO2 para diferentes fuentes de energía.

Fuente: (Ruiz, 2007)

Debido al ritmo de pérdida de 130°C de temperatura de la tierra cada mil millones de años la energía geotérmica es un recurso renovable, con vida útil de explotación de pozo de 20 a 50 años (BRGM, 2009).

Existen diversas aplicaciones para una fuente geotermal que dependen de la entalpia (cantidad de energía térmica que un fluido es capaz de intercambiar con su entorno). La entalpia se considera proporcional a la temperatura, así se puede caracterizar la fuente geotérmica a una aplicación determinada (Dirección General de Industria, Energía y Minas, 2011).

1.4.3 Tipo de geotermia y sus aplicaciones

En la Figura 1.3 se describe las aplicaciones de la geotermia según los rangos de temperatura: muy baja, baja, media y alta temperatura.

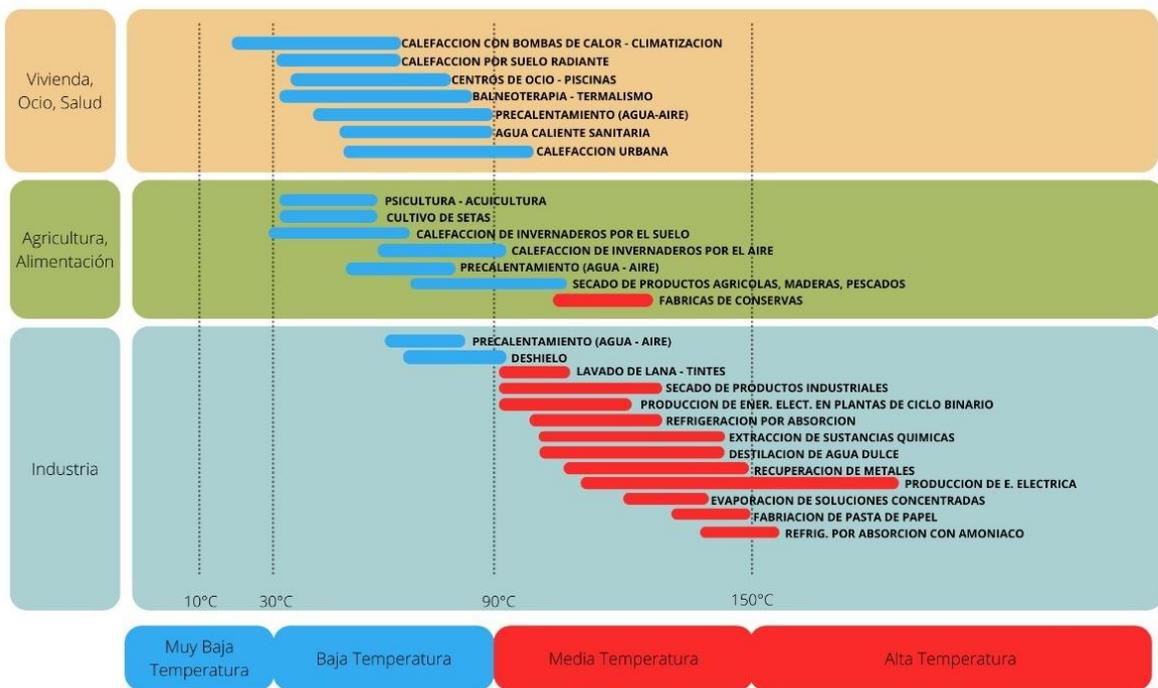


Figura 1.3. Energía Geotérmica según tipo de aplicación

Fuente: (BRGM, 2009)

La geotermia de alta temperatura se da a partir de temperaturas mayores a 150°C en la fuente, lo que permite generar energía eléctrica usando el vapor de agua. La geotermia de media temperatura se da en el rango 90°C a 150°C, y se utiliza para generar energía eléctrica a partir de un fluido de intercambio, en centrales. La geotermia de baja temperatura en el rango de 30°C a 90°C se utiliza para calefacción de edificios, aplicaciones agrícolas y varios procesos industriales (BRGM, 2009). Por último, la geotermia de muy baja temperatura la fuente se encuentra a menos de 30°C, entre sus principales aplicaciones la climatización a partir de bombas de calor.

El Ecuador debido a su ubicación en la placa del Nazca se encuentra en una zona propicia para el desarrollo de energía geotérmica de alta temperatura, además de geotermia de baja y muy baja temperatura.

1.4.4 Sistemas de captación de energía geotérmica

Los sistemas de instalación para aprovechamiento de energía geotérmica con una fuente de muy baja o baja entalpia corresponden a los siguientes:

Sistema de circuito abierto de intercambio de calor de agua subterránea.

Para este tipo de sistemas (ver Figura 1.4) se emplean pozos de agua y bombas de pozo para suministrar el agua subterránea a una bomba de calor, además para la instalación de este sistema se requiere un estudio del suelo que permita conocer la presencia de acuíferos, el comportamiento hidráulico del pozo de agua y la química del agua (Andrew D. Chiasson, 2016). La principal ventaja de los sistemas de intercambio de calor de agua subterránea es su costo potencialmente menor, su simplicidad y la pequeña cantidad de área de terreno requerida en relación con otros acoplamientos de tierra y sistemas convencionales. Las desventajas incluyen disponibilidad limitada, regulaciones y mala calidad química del agua subterránea en algunas regiones.

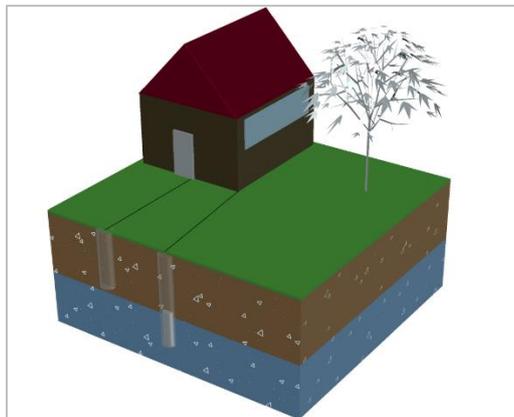


Figura 1.4. Esquema sistema circuito abierto de pozo de columna permanente

Sistema de circuito cerrado de pozo vertical

En los sistemas de intercambio de calor de pozo vertical de circuito cerrado (ver Figura 1.5), el rechazo/extracción de calor se logra haciendo circular un fluido de intercambio

de calor a través de un sistema de tuberías de plástico instalado en una serie de pozos verticales, generalmente perforados a profundidades que van desde 50 a 100 metros (Andrew D. Chiasson, 2016). Los aspectos primordiales en el diseño de los sistemas de intercambio de calor de pozo vertical de pozo cerrado son la caracterización adecuada del subsuelo, el diseño del intercambiador de calor del pozo y el tamaño y dimensionamiento del intercambiador de calor del suelo.

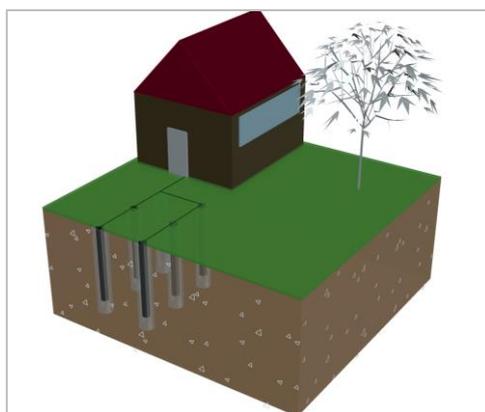


Figura 1.5. Esquema sistema de circuito cerrado de pozo vertical

Sistema de circuito cerrado subterráneo horizontal

Este sistema de circuito tiene configuración en serie de disposiciones de tuberías paralelas dispuestas en zanjas excavadas, excavaciones o pozos horizontales de aproximadamente 1 a 2 metros de profundidad (Andrew D. Chiasson, 2016). En la Figura 1.6 se detalla la configuración Slinky, este tipo es muy popular debido a la facilidad de instalación en excavaciones poco profundas o zanjas. En estos circuitos horizontales las fluctuaciones climáticas y de temperatura del aire influyen las condiciones geotérmicas.

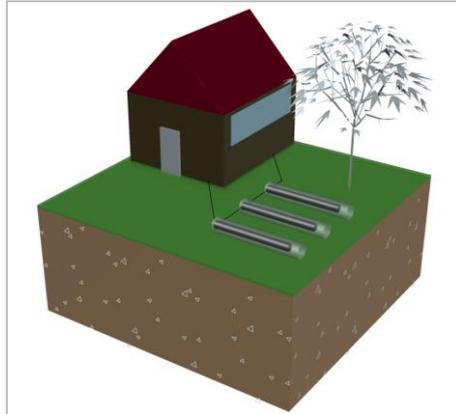


Figura 1.6. Esquema sistema de circuito cerrado subterráneo horizontal

Sistema de agua superficial

Los sistemas de intercambio geotérmicos de agua superficial pueden ser de circuito cerrado o de circuito abierto. Las configuraciones de intercambiadores de calor de circuito cerrado son el tipo de serpentín, el tipo de placa o el tipo de serpentín Slinky (ver Figura 1.7). En este sistema la extracción de la energía geotérmica se da mediante la circulación de un fluido de intercambio de calor en el intercambiador que se ubica en la profundidad de un lago, estanque, reservorio (Andrew D. Chiasson, 2016). En los sistemas de circuito abierto, el agua se extrae de la masa de agua superficial a través de un área de entrada filtrada a una profundidad adecuada y se descarga a un receptor adecuado.

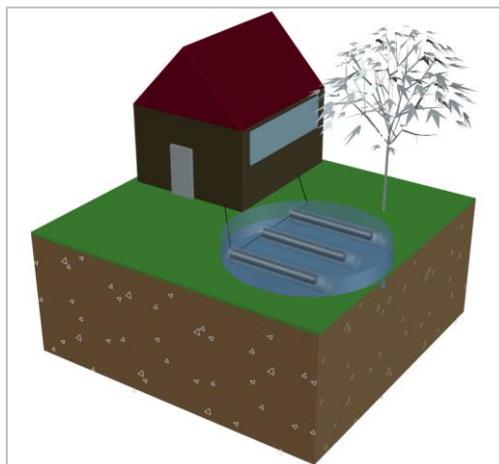


Figura 1.7 Esquema sistema de circuito cerrado de agua superficial

La energía geotérmica proporcionada por la fuente termal en Terjamanco es de baja entalpía 58°C, por lo que se puede usar para calefacción y agua caliente sanitaria. La

geotermia de baja temperatura maximiza su rendimiento cuando se utiliza el suelo radiante como sistema de calefacción (Instituto de Ahorro de Energía, IDAE, 2002).

1.4.5 Sistemas de Calefacción: Piso radiante

La calefacción por piso radiante trabaja con agua caliente que circula a través de un sistema de tuberías que se instalan en pisos, techos o paredes para transferir energía (Woodson, 2010). La principal ventaja es el confort y la eficiencia de este tipo de calefacción, esto se debe a la precisión con la que se puede distribuir el calor según la necesidad térmica particular de la habitación. Otras de las ventajas son baja temperatura de operación del agua, menor consumo. En el Apéndice F se muestran las curvas de calefacción de piso radiante y otros métodos de calefacción, entre todos los métodos de calefacción; el piso radiante es el que se aproxima más a la curva de calefacción ideal para el ser humano (Woodson, 2010).

La capacidad calorífica del agua permite que la calefacción por piso radiante sea más eficiente que la calefacción por aire forzado, dado que el agua tiene tres mil veces más capacidades caloríficas por pie cúbico que el aire (Zurn , 2006); por lo que en piso radiante el dimensionamiento de los componentes del sistema es más pequeños, así como las pérdidas de calor.

1.4.6 Sistema de agua caliente sanitaria

Las instalaciones de ACS son integradas en mayor parte en la calefacción de los edificios. El calentamiento del agua para consumo residencial por medio de energía geotérmica es una opción que destaca para reemplazar el consumo de combustibles fósiles como GLP o el uso de la electricidad (J.A. Mantilla, 2015).

Un sistema de ACS está constituido por los siguientes elementos (Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral, S/N):

- Suministro de agua fría para el uso humano.
- Un medio generador de calor que elevan la temperatura del agua fría se puede tratar de calentadores, calderas o intercambiadores de calor. Este factor se debe considerar por el tipo de edificación al que se quiere suministrar agua caliente.
- Una red de suministro de agua que trasportará el fluido a la edificación.

- Un acumulador donde se debe almacenar el agua caliente que permitirá aumentar la inercia térmica del sistema para satisfacer la demanda horaria, donde se tiene una potencia inferior a la demanda máxima del sistema.
- Accesorios finales como grifos o duchas.
- Un circuito de retorno que conduce el fluido hacia los puntos alejados desde el punto de suministro de agua al sistema acumulador.

Por otra parte, de acuerdo con el reporte de la Subdirección General de Sanidad Ambiental de Madrid, estos sistemas son focos acumuladores de la bacteria Legionella. Esta bacteria es de tipo ambiental, su presencia se da principalmente en aguas dulces de lagos y ríos, mediante tuberías de agua se concentra en equipos como torres de enfriamiento o sistemas ACS, afecta al hombre por medio del contacto o inhalación provocando la legionelosis (F., 2008). La legionelosis es una enfermedad respiratoria causante de infecciones y provocando enfermedades como la neumonía (Enrique Gea-Izquierdo, 2012). La norma contra la bacteria es UNE 100030:2017 e indica que el sistema ACS deberá alcanzar los 70°C, luego debe acumularse a 60°C y el punto más alejado debe estar 50°C (Gómez, 2019), entonces los sistemas deberán ser dimensionados con estas especificaciones.

CAPÍTULO 2

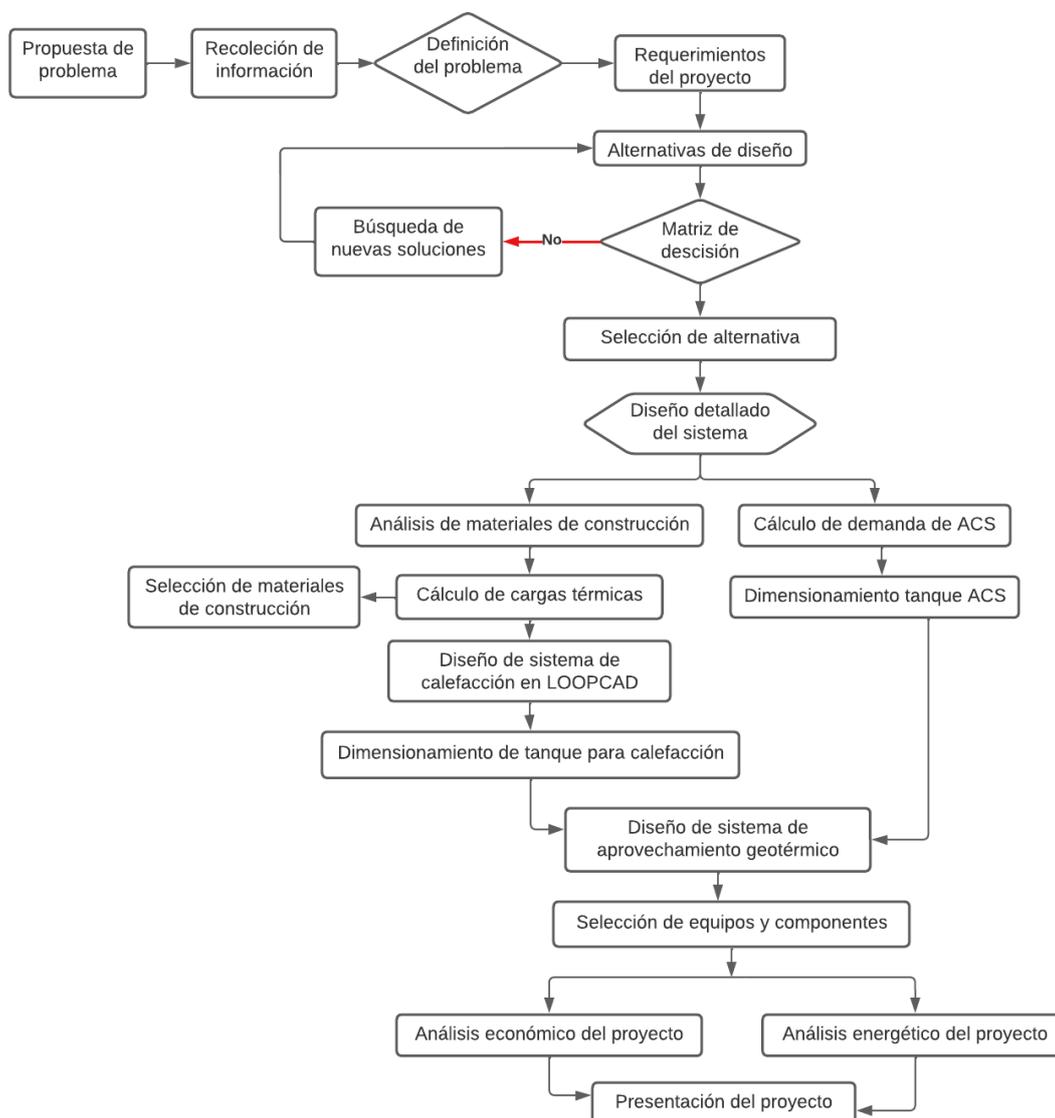
2. METODOLOGÍA

El propósito de este proyecto es diseñar un sistema de calefacción y ACS aprovechando la geotermia como fuente de suministro de energía, a partir del análisis de materiales de construcción y cálculo de cargas térmicas como paso inicial para dimensionar la capacidad del sistema. Se presenta un diagrama esquemático sobre la metodología a seguir, con la finalidad de establecer el proceso de selección del sistema de aprovechamiento geotérmico. Se optó por dimensionar el sistema de calefacción por piso radiante en la versión gratuita del software LoopCAD. Para el dimensionamiento del intercambiador de calor se usó los modelos matemáticos de transferencia de calor. Por otra parte, se realizó un análisis energético que permitió comparar el consumo de energía usando el sistema de calefacción actual versus la alternativa propuesta, además se contrastó las emisiones de CO₂ para cada escenario. Por último, se realizó un análisis económico de la rentabilidad del proyecto.

2.1 Metodología de Diseño

Para el proyecto se elaboró un diagrama de flujo donde se detalla la metodología de diseño, se muestra en la Figura 2.1.

Figura 2.1 Diagrama de flujo ‘Metodología del diseño’



2.2 Requerimientos de diseño del cliente

El complejo desea expandir sus instalaciones construyendo un bloque de 10 habitaciones ubicadas en planta baja en un área de 300m² donde el sistema de calefacción y ACS del nuevo bloque sea alimentado por medio de energía geotérmica que aproveche el calor de las aguas termales. Los parámetros de la fuente geotérmica como caudal y temperatura fueron medidos durante una visita técnica a las instalaciones de Terjamanco. En la Tabla 2.1 se detallan los datos técnicos de la fuente geotérmica extraídos del análisis del agua que se encuentra en el Apéndice H, mientras que en la tabla 2.2, se establecen los parámetros de diseño de construcción solicitados para el nuevo edificio.

Tabla 2.1 Parámetros de fuente geotérmica

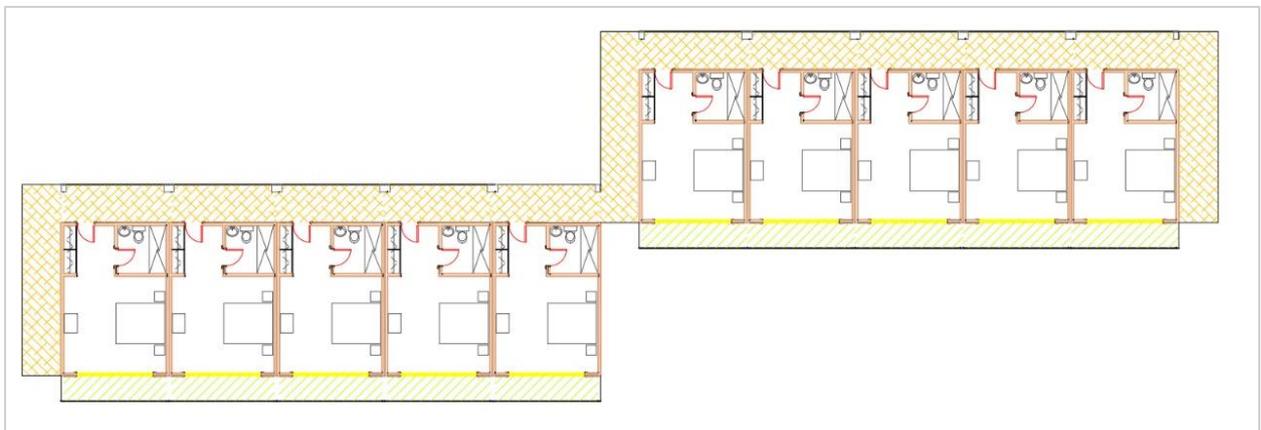
Parámetro	Descripción
Caudal del Agua	0.006 m ³ /s
Temperatura de Agua	58 °C
Análisis del Agua	Cargada de precipitación

Tabla 2.2 Parámetros de diseño construcción

Parámetro	Descripción
Área de Construcción	300 m ²
No. de Habitaciones	10
No. de Pisos	1

En la Figura 2.2 se presenta el diseño de distribución propuesto, con asesoramiento del arquitecto encargado del proyecto para el edificio que sería ubicado en la zona establecida en el Apéndice E.

Figura 2.2 Distribución del nuevo bloque de habitaciones



2.3 Condiciones del Climáticas del Sitio

Las condiciones climáticas del sitio fueron solicitadas al Centro de Energías Renovables y Alternativas de ESPOL y fueron obtenidas a través del software Meteonorm. En el Apéndice G, se presenta un resumen de los datos obtenidos.

En la Figura 2.3 se presenta la variación máxima y mínima de la temperatura a lo largo de un año en Papallacta.

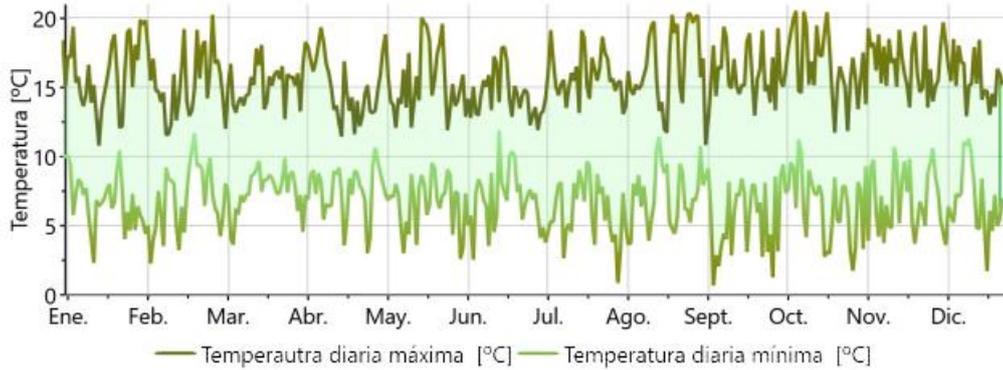


Figura 2.3. Variación de la temperatura en Papallacta

Fuente: *Meteonorm* Archivo Climático

En la Tabla 2.3 se presenta las condiciones exteriores para el escenario más crítico que ocurre durante los meses de junio, julio y agosto, por otro lado, en la Tabla 2.4 se presenta las condiciones de diseño que se establecieron:

Tabla 2.3 Condiciones exteriores

Temperatura Bulbo Seco	4.7 °C
Temperatura de Bulbo Húmedo	2.2 °C
Humedad Relativa	78%

Tabla 2.4 Condiciones de diseño

Temperatura Bulbo Seco	20 °C
Humedad Relativa	30%

Las condiciones de diseño para calefacción son las recomendadas en *el Handbook Fundamentals* de ASHRAE (ASHRAE, 2021).

2.4 Alternativas de solución

Dentro de las alternativas de solución se consideraron los parámetros y requerimientos que estableció el cliente. En cada una de las propuestas se tiene el mismo objetivo, el diseño de un sistema geotérmico que permita brindar calefacción y ACS a un bloque de habitaciones.

A continuación, se detallan alternativas para el diseño de la instalación geotérmica:

Alternativa 1: Circuito abierto de agua superficial híbrido

Como se observa en la figura 2.4 esta alternativa corresponde a un sistema de circuito abierto. Consiste en extraer agua de la fuente de calor a 58°C y dirigirla hacia una bomba de calor donde transfiere calor al sistema de calefacción y ACS. El agua que circula pierde calor al hacer la transferencia entre las habitaciones y agua de vertiente, luego retorna hacia la piscina termal y repite el ciclo. Es importante mencionar que dado a las características del agua a medida que pase el tiempo se generará precipitaciones en la tubería reduciendo el flujo másico de entrada, por lo que, esta alternativa requiere de mantenimientos periódicos en las tuberías y equipos, además sus costos de instalación son elevados (Andrew D. Chiasson, 2016).

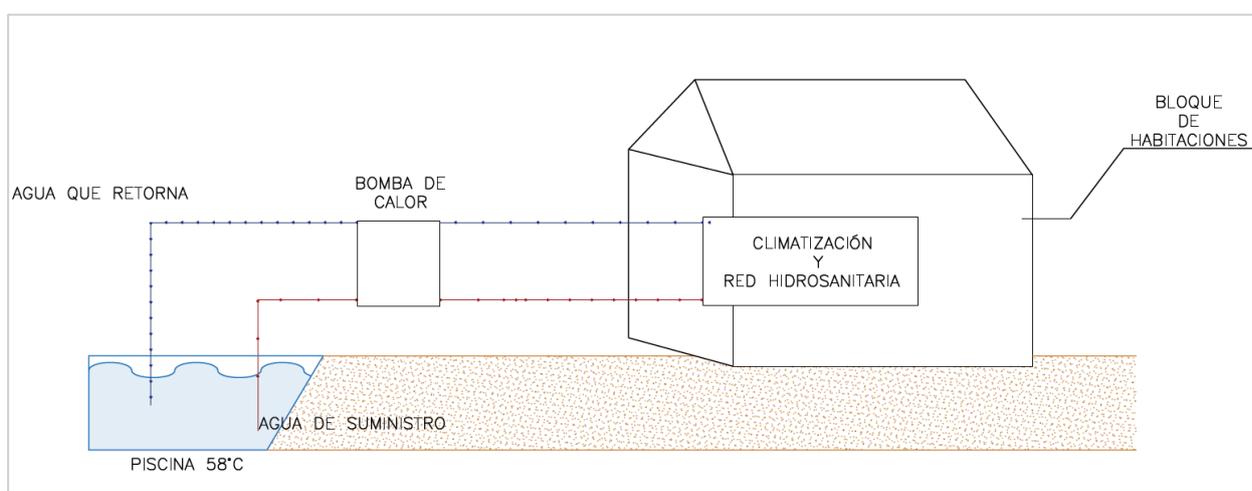


Figura 2.4 Alternativa 1 'Circuito abierto de agua superficial híbrido'

Alternativa 2: Circuito abierto de agua superficial

En la figura 2.5 se observa el esquema de la alternativa 2, se trata de un sistema que consta de dos circuitos. En el circuito primario (línea amarilla) ingresa agua de la fuente y se dirige al intercambiador donde transfiere el calor a las tuberías del circuito secundario y luego retorna a la piscina. El circuito secundario (línea verde) es cerrado por las tuberías circula agua ablandada y es el que transmitirá el calor obtenido del circuito primario hacia el sistema de calefacción y ACS. Para este sistema los mantenimientos son periódicos en su parte primaria dado a las condiciones del agua que ingresaría a las tuberías a lo largo del tiempo generará precipitaciones (Roger Olsson,

2015).

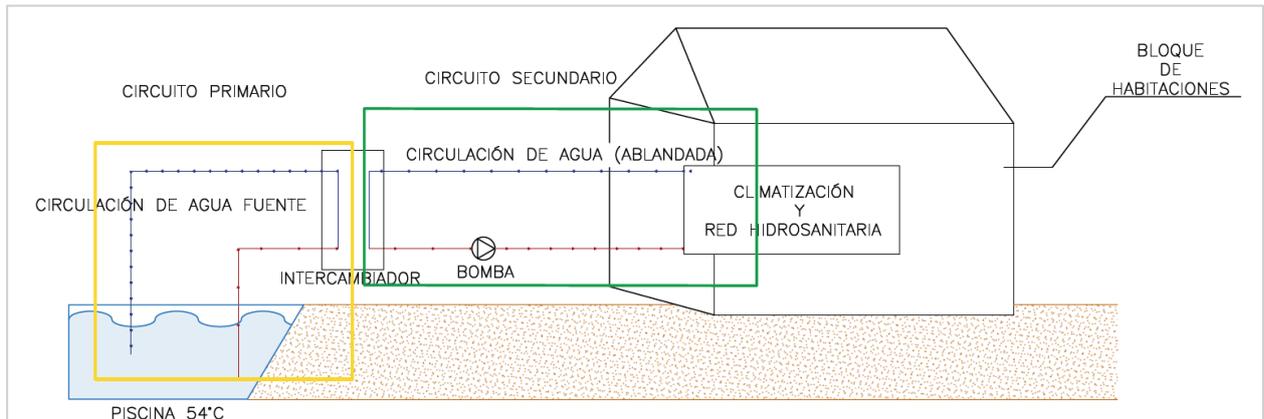


Figura 2.5 Alternativa 2 'Circuito abierto de agua superficial'

Alternativa 3: Circuito cerrado de agua superficial

En la figura 2.6 se observa el esquema de esta alternativa. Se trata de un sistema de circuito cerrado compuesto por dos secciones. En la primera sección (línea amarilla) fluye agua ablandada por las tuberías que se calienta mediante la transferencia del calor entre el agua de la piscina a 58 °C este fluido se dirige a un tanque que trasfiere el calor a la segunda sección (línea verde) que corresponde al sistema de calefacción y ACS. En este sistema no influyen las características del agua dado a la naturaleza del circuito. Esta alternativa requiere de mantenimientos periódicos cortos en las tuberías del sistema es una alternativa económica.

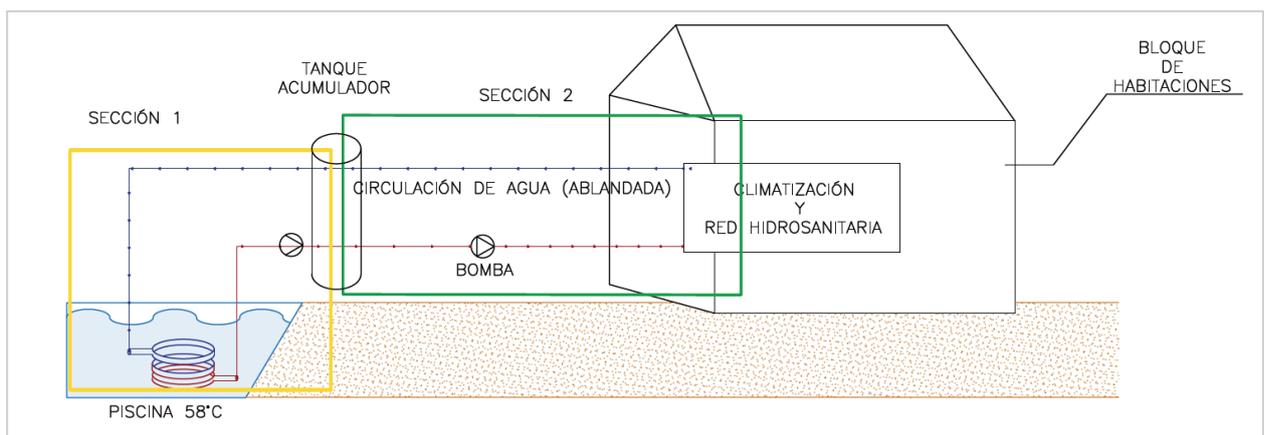


Figura 2.6 Alternativa 3 'Circuito cerrado de agua superficial'

2.5 Criterios de Selección

Los criterios que se usaron para evaluar los sistemas de solución propuestos son:

1. **Costo por Instalación (20%):** El costo inicial por montaje del sistema y compra de equipos, tuberías y demás accesorios que lo componen.
2. **Costo de mantenimiento (10%):** El mantenimiento que demande el sistema dependerá del tipo de circuito, las frecuencias de revisión deben ser cortas para que los costos sean bajos.
3. **Consumo energético (20%):** La cantidad de energía eléctrica que consuman las partes que componen el sistema, se requiere un sistema energéticamente eficiente. Entre más equipos tenga el sistema, mayor será el consumo eléctrico.
4. **Capacidad de satisfacer cargas térmicas (15%):** El sistema debe ser apto para satisfacer las cargas por calefacción y agua caliente que se demande.
5. **Influencia de características del agua (35 %):** El agua de las termas contiene de impurezas que causan precipitación. El sistema debe minimizar el riesgo de exposición de tuberías y equipos al agua de las termas que pueden causar daños a causa del precipitado.

2.6 Matriz de decisión.

La matriz de decisión permite comparar la factibilidad de las alternativas con base a los parámetros de decisión enunciados en la sección 2.5. En la Tabla 2.5 se muestran las calificaciones donde 1 corresponde a una baja calificación y 5 a una alta calificación.

Tabla 2.5 Tabla de calificación para matriz de decisión

Tabla de Calificación: 1 Malo 2 Regular 3 Moderado 4 Bueno 5 Excelente

Para la **alternativa 1** los costos de instalación son altos en contraste a las alternativas 2 y 3, debido a los componentes que requiere la instalación del sistema, por ende, el consumo energético también es elevado. El sistema requiere una piscina para almacenar el agua de las termas, lo que genera un costo alto de instalación inicial. En la piscina se instala la tubería de entrada y salida del circuito abierto que van hacia la bomba de calor. Los costos de mantenimiento del sistema se relacionan con la influencia de las características del agua, esta alternativa tiene un sistema abierto que se ve afectado por la precipitación que se forma dada la calidad del agua, lo que conlleva costos altos de

mantenimiento. Para esta alternativa de igual manera se requiere un gran espacio de instalación debido a los componentes como intercambiador, bombas y calentador de agua.

Para la **alternativa 2** los costos de instalación son medios en referencia a las alternativas 1 y 3 debido a que el sistema tiene un intercambiador, bomba y accesorios. Acerca del consumo energético es medio – elevado dado que el sistema debe estar encendido todo el tiempo. El sistema requiere una piscina para almacenar el agua de las termas, lo que genera un costo alto en la instalación inicial. En la piscina se instala la tubería de entrada y salida del circuito abierto que van hacia el intercambiador. Los costos de mantenimiento del sistema se relacionan con la influencia de la calidad de agua, el sistema es abierto, por lo que agua de la terma entra al circuito, así pues, el sistema requerirá mantenimiento constante para que el precipitado no dañe las tuberías y equipos. La capacidad de suministrar carga es eficiente debido al intercambiador del circuito primario que permite suplir al sistema sanitario y de calefacción.

Para la **alternativa 3** en comparación con las alternativas 1 y 2, los costos de instalación son bajos los componentes del sistema son accesorios, tanques y bombas. El sistema requiere una piscina para almacenar el agua de las termas, lo que genera un costo alto en la instalación inicial. En la piscina se instala un serpentín se instala y funciona como intercambiador. El consumo energético es bajo debido a que son pocos los equipos conectados a la red eléctrica. El sistema requiere frecuencias de mantenimiento regulares. El circuito es cerrado por lo que la calidad del agua no influye en el sistema, por ende, no se formaría precipitado en tuberías ni equipos y el mantenimiento que demanda el sistema es puntual con costos bajos. Dado a la naturaleza del sistema se puede decir que se las cargas requeridas para calefacción y ACS serán satisfechas por sistema de aprovechamiento geotérmico.

A continuación, se presenta la matriz de selección:

Tabla 2.6 Matriz de selección de alternativas de diseño

		ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
Parámetros decisión	Peso asignado	Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada
<i>Costo de instalación</i>	0,2	4	0,8	3	0,6	2	0,4
<i>Costo de mantenimiento</i>	0,1	2	0,2	3	0,3	4	0,4
<i>Consumo energético</i>	0,2	3	0,6	4	0,8	5	1
<i>Capacidad de satisfacer la carga térmica</i>	0,15	5	0,75	4	0,6	3	0,45
<i>Influencia de las características del agua</i>	0,35	3	1,05	4	1,4	5	1,75
SUMA	1	Puntuación final	3,4	Puntuación final	3,7	Puntuación final	4,0

En la Tabla 2.6 se observa la matriz de selección, la alternativa con la calificación más alta es 4,4 puntos, correspondientes a la alternativa 3, se procedió a seleccionar el aprovechamiento de la geotermia con un circuito cerrado de agua superficial

2.7 Diseño Detallado

Como se observa en la figura 2.7, consta de dos circuitos cerrados. En el primario (línea amarilla) se produce la transferencia de calor entre el agua de la piscina que se encuentra a 58 °C y el serpentín que en su interior fluye agua ablandada circulando mediante bombeo hacia el segundo circuito, cuando el fluido ha conseguido el calor de la piscina se encontrará a una temperatura de 45 °C aproximadamente y transfiere calor en un tanque acumulador de agua. En el segundo circuito (línea verde), el agua caliente se distribuye al sistema de climatización, en este caso piso radiante, este sistema a través de la radiación distribuye el calor hacia la habitación, produciendo una transferencia de

calor con el aire frío de la habitación, de esta manera el agua baja su temperatura y recircula hacia el tanque acumulador.

Por otra parte, para el circuito de ACS (línea negra), se usa el mismo principio, en la primera parte se transfiere el calor de la piscina hacia el agua ablandada que circula dentro de los serpentines y mediante una unión de válvulas se conduce agua caliente a 45 °C aproximadamente hacia un tanque almacenador de agua. Es importante mencionar que para satisfacer la demanda de agua de los huéspedes se deben colocar una cantidad de tanques necesaria, tanque especiales que en su interior poseen un serpentín de manera que se transfiera el calor al agua de suministro que se encuentra a 4°C. Dado a que este sistema es de baja entalpía se deberá colocar un calentador adicional para satisfacer la demanda de agua caliente a una temperatura de 70°C para evitar la acumulación de la bacteria legionela (Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral, S/N).

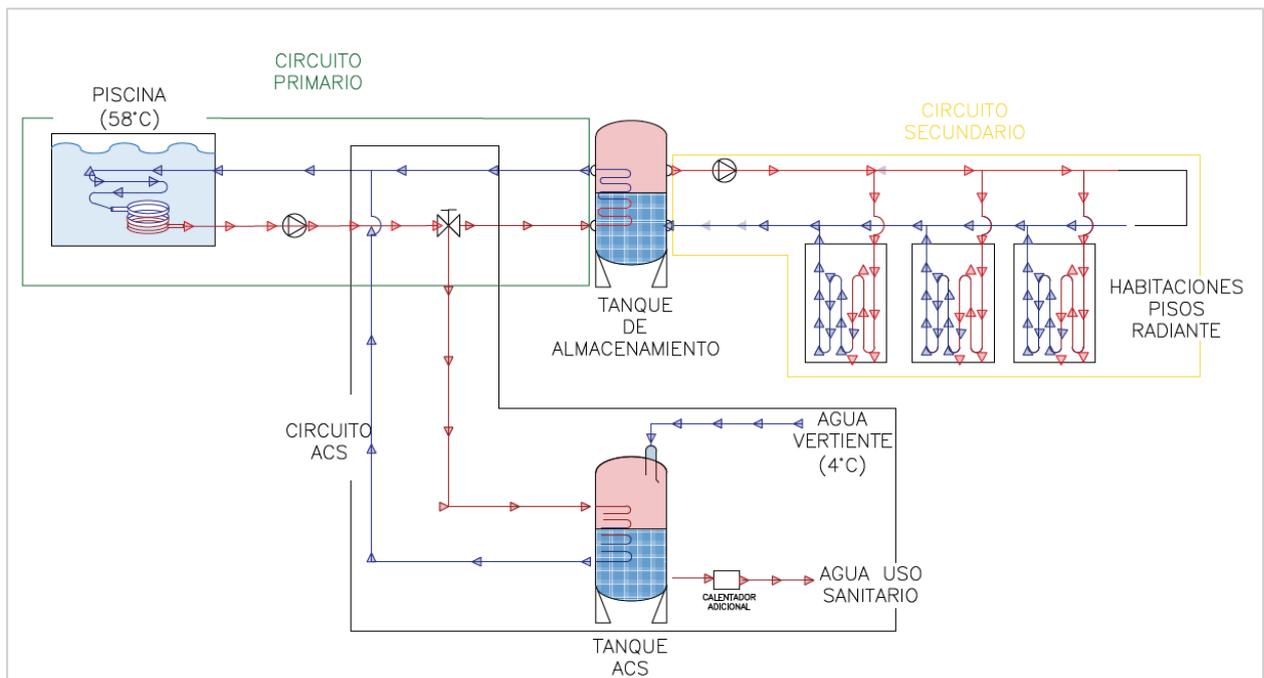


Figura 2.7 Diagrama esquemático del sistema cerrado

2.8 Cargas térmicas

Para obtener la carga térmica se utilizó el software *LOOPCAD* de *Uponor* prueba gratis de 30 días, el cual permite calcular las cargas de calefacción a partir del método de diferencia de temperatura para cargas de enfriamiento por sus siglas en inglés (CLTD) basado en el *Handbook de ASHRAE Fundamentals 2017*.

Para el cálculo de cargas es necesario cargar el archivo climático para las condiciones del sitio obtenido en *Meteonorm*, además de las condiciones de diseño de 20 C y 30% de humedad relativa (ASHRAE, 2021), también se colocan los materiales de construcción respectivos para ventanas, puertas, techo y paredes. El programa brindó un reporte de cargas, que permitió más adelante dimensionar el sistema de calefacción.

2.9 Pisos Radiantes

Para el diseño del sistema de piso radiante se utilizó el software *LOOPCAD* en su versión gratuita de 30 días, el cual nos permite obtener el diagrama de la instalación del piso radiante se muestra en el Apéndice E, así como reporte completo con las temperaturas de entrada mínimas y en la superficie, el caudal y la longitud del circuito. Para que el dimensionamiento del sistema sea el adecuado el software requiere algunos parámetros iniciales como: el cálculo de cargas térmicas, especificación de zonas, elección de tipo de configuración de tubería y la elección del tipo de piso radiante que se muestra a continuación:

2.9.1 Tipo de Piso Radiante

Para el piso radiante se eligió la configuración losa empotrada dado a que un sistema simple y económico de instalar (Radiant Floor Company, 2007). Se recomienda este método en aplicaciones residenciales y hostales. En la Figura 2.8 se muestra el esquema típico de suelo empotrado y sus componentes de la instalación los cuales usaremos para nuestras habitaciones.

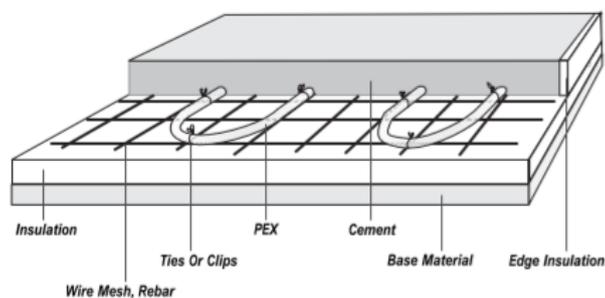


Figura 2.8. Esquema de piso radiante empotrado

Fuente: (Radiant Floor Company, 2007)

2.9.2 Patrón de tubería de piso radiante

Para el patrón de tubería se plantea un bucle por habitación, es decir el hotel tendrá 10 bucles. Los paneles radiantes pueden disponerse en cualquier patrón que permita satisfacer la carga de calefacción según se necesite en cada espacio (Zurn , 2006).

Es importante tener en cuenta que el objetivo no es tener una temperatura del suelo uniforme, dado que en algunas zonas interiores se puede sobrecalentar y en paredes exteriores requerir más calor. Por este motivo se debe seleccionar un patrón de tuberías según la disposición de paredes y ventanas en el espacio a calefactar.

Para las habitaciones se usará un patrón serpenteante de una sola pared que entrega más energía térmica a lo largo de una pared exterior con alta pérdida de calor, y luego menos energía a medida que el patrón se desplaza hacia el interior, hacia áreas con poca o ninguna pérdida de calor (Radiant Floor Company, 2007) En las 10 habitaciones, será la pared con el ventanal.

2.9.3 Zonificación.

Una zona es un área controlada por un termostato y una bomba de recirculación, una zona se compone de uno o varios circuitos, donde su longitud no debe ser mayor a 55.74 m^2 (Radiant Floor Company, 2007). Para mejorar la eficiencia y reducción de costos del sistema de piso radiante se deben emplear zonas. Los dormitorios deben ser zonas independientes a otros cuartos de un hotel o casa debido a que se usa mayormente en la noche (Woodson, 2010). El sistema de piso radiante en el diseño tiene una zona y se compone de 10 circuitos. Se detalla a continuación las ecuaciones que utiliza el software LOOPCAD para el dimensionamiento del piso radiante.

2.9.4 Tasa de flujo de calor

Para determinar la distribución de la energía en el piso radiante es necesario calcular la pérdida de calor por área de superficie donde se instale la tubería del piso. (Uponor , 2011).

$$\dot{Q} = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Donde:

Q : Flujo de Calor [W]

A : Área designada para calefacción [m^2]

2.9.5 Longitud de circuito

En el diseño de pisos radiantes es necesario conocer la longitud del circuito cerrado que se encargara de calentar la habitación.

$$L = \frac{A}{e} + 2L_c \quad (2)$$

Donde:

A : Área designada para la calefacción [m^2]

e : Distancia existente entre los tubos [m]

L_c : Distancia entre el área designada y el colector [m]

2.9.6 Temperatura radiante media [T_{rm}]

La temperatura radiante media es suma de todas las temperaturas en el ambiente interno de una habitación (paredes, techo y suelo). Es la temperatura dentro de la habitación.

$$T_{rm} = \frac{T_s + 0.15(T_{p1} + T_{p2} + T_{p3} + T_v) + 0.4T_t}{2} \quad (3)$$

Donde:

T_s : Temperatura superficial del suelo [°C]

T_{p1}, T_{p2}, T_{p3} : Temperatura superficial de las paredes 1, 2 y 3 [°C]

T_v : Temperatura superficial del ventanal [°C]

T_t : Temperatura superficial del techo [°C]

2.9.7 Temperatura operativa [T_o]

La temperatura del ambiente es diferente a la que realmente percibe el ser humano dentro de una habitación, esto se debe a que dentro de un lugar cerrado la temperatura del ambiente se ve influenciada por la transferencia de los objetos a su alrededor. La forma de calcular la temperatura que percibirá el ser humano corresponde a una relación entre la temperatura radiante media y la temperatura del ambiente.

$$T_o = \frac{T_{rm} + T_a}{2} \quad (4)$$

Donde:

T_{rm} : Temperatura radiante media

T_a : Temperatura ambiente del interior $\dot{q}_A = \frac{Q}{A}$

2.10 Circuito cerrado de agua superficial

La estructura del circuito cerrado se basa en circular agua ablandada a una temperatura que sea necesaria para satisfacer las cargas térmicas que se requieren en los tanques para el piso radiante y ACS, por ello, se necesita calcular la capacidad térmica de los tanques en ambos sistemas. A continuación, se presenta los modelos matemáticos para el dimensionamiento de los tanques e intercambiador de calor tipo serpentín de flujo cruzado.

2.10.1 Dimensionamiento de los tanques.

Para dimensionar la cantidad de energía que necesita en los tanques, se toma en cuenta las características de la temperatura de entrada y salida, el calor específico del fluido

circulante y masa que se necesita para satisfacer el sistema. El calor es calculado con la ecuación 5.

$$q = mC_p\Delta T \quad (5)$$

Donde:

Q es el calor que requiere el sistema.

m es la masa que va a necesitar el tanque.

C_p es el calor específico del fluido que circula en el interior del tanque.

ΔT es el diferencial de temperatura en el tanque.

Por otra parte, para dimensionar la capacidad de los tanques se debe conocer las condiciones que requiere tanto el sistema de calefacción como la demanda de ACS que se requiere en el hotel. Para el sistema de calefacción se establece que la capacidad será determinada dependiendo del dimensionamiento de las tuberías que circulan en el piso radiante, mientras que para el ACS se estimó el consumo de agua caliente por persona, en este trabajo se escogió el consumo promedio 30 – 50 litros por día (Hot Water Association UK, s.f.).

2.10.2 Coeficiente global de transferencia de calor

Este coeficiente es aquel que indica que tan bien se conduce el calor a través de diferentes medios. Para el dimensionamiento de los sistemas de calefacción y ACS, es necesario calcular el coeficiente global de transferencia de calor del intercambiador, que corresponde a la principal fuente de alimentación del diseño. Se debe conocer la resistencia térmica total del intercambiador presentada en la ecuación 6 (Andrew D. Chiasson, 2016):

$$R_{total} = R_A + R_B + R_C \quad (6)$$

Donde:

R_A : Resistencia convectiva en el interior del canal de flujo del intercambiador.

R_B : Resistencia conductiva del material del intercambiador de calor

De esta manera, se puede calcular el coeficiente de transferencia de calor con la ecuación 7:

$$U = \frac{1}{R_{total}} \quad (7)$$

Donde:

R_{total} : Resistencia térmica Total

2.10.3 Resistencias térmicas

Para el cálculo de cargas térmicas se usan las ecuaciones de acuerdo con la transferencia que ocurre en la tubería, la ecuación 8 corresponde a la resistencia de convección:

$$R_A = \frac{1}{\pi D_A L h_A} \quad (8)$$

Donde:

D_A es el diámetro interior de la tubería.

L es la longitud referencial (1 m).

h_A es el coeficiente de convección.

La ecuación 9 corresponde a la resistencia de conducción, que para este caso se asume pared plana dado a las condiciones de la piscina.

$$R_B = \frac{e}{kL} \quad (9)$$

Donde:

e es el espesor de la tubería

k es el coeficiente de conducción del material de la tubería

L es la longitud referencial (1 m).

2.10.4 Coeficiente de convección

Para calcular el coeficiente de convección se utiliza la ecuación 10:

$$h_A = \frac{Nu_A k_A}{D_A} \quad (10)$$

Donde:

Nu_A es el número de Nusselt para intercambiador de calor tipo serpentín

k_A es el coeficiente de conducción del fluido interior

D_A es el diámetro interior de la tubería.

Para el cálculo del número de Nusselt en tuberías en espiral se usa la ecuación 11, para el cálculo de número de Dean la ecuación 12 y para la relación de diámetro (Salimpour, 2009):

$$Nu_A = 0.15De^{0.431}Pr^{1.06}PitchRatio^{-0.277} \quad (11)$$

$$De = Re \sqrt{\frac{D_A}{D_{coil}}} \quad (12)$$

$$PitchRatio = \frac{\Delta y}{\pi D_{coil}} \quad (13)$$

Donde:

De es el número de Dean.

Pr es el número de Prandal.

Pitch Ratio es la relación entre la variación de espacio en vertical sobre el diámetro del serpentín.

2.10.5 Longitud de la tubería para el intercambiador

Para el cálculo de la longitud se hace un balance de energía entre los calores del sistema usando las ecuaciones 14 y 15:

$$q = UA\Delta T_{LMTD} \quad (14)$$

$$q = \frac{\Delta T}{R_{Total}} \quad (15)$$

Donde:

U es el coeficiente global de la transferencia de calor

A es el área superficial de la tubería

ΔT_{LMTD} es el diferencial la temperatura logarítmica del intercambiador

ΔT es el diferencial de la temperatura entre la entrada y salida de las temperaturas del intercambiador.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se muestran los resultados del diseño del intercambiador de calor, diseño de la calefacción por piso radiante y dimensionamiento de tanque ACS, además la selección de equipos y componentes del sistema.

3.1 Comparación de materiales de construcción convencional vs construcción propuesta.

En la Tabla 3.1 se detalla la opción de materiales convencionales que se refieren a los que son usados actualmente en el bloque de habitaciones existentes.

Tabla 3.1 Materiales Convencionales

Opción 1: Materiales Construcción Convencionales		
	Descripción	U [$\frac{W}{m^2}$]
Pared	Ladrillo, acabado interior	0.341
Techo	Madera, chova asfáltica.	0.287
Ventanas	Puertas deslizables de vidrio claro.	0.75
Puerta	Madera tipo panel	0.540

En la Tabla 3.2 se detalla la opción de materiales propuestos que debido a su bajo coeficiente de transmisividad térmica han sido seleccionados.

Tabla 3.2 Materiales Propuestos

Opción 2: Materiales Construcción Propuesta		
	Descripción	U [$\frac{W}{m^2}$]
Pared	Bloque de concreto, aislamiento R-6, revestimiento de madera, acabado interior y exterior	0.095
Techo	Madera 1.5", aislamiento R-15, capacidad de absorción de techo mayor a 0.75, tejas de asfalto color oscuro.	0.054
Ventanas	Puertas deslizables de vidrio doble, vidrio absorbente de calor, marco de fibra de vidrio aislado.	0.870
Puerta	Madera de núcleo compacto.	0.390

En la Tabla 3.3 se presentan los resultados de cálculos de cargas térmicas y tasa de flujo, tomando en consideración las opciones de materiales de construcción del bloque de habitaciones.

Tabla 3.3. Comparación de resultados de Carga Térmica y Tasa de Flujo.

	Opción 1: Materiales construcción convencionales	Opción 2: Materiales construcción propuesta
Carga Térmica [kW]	25.57	8.75

La opción de materiales propuestos reduce la carga térmica del edificio en un 65.38% en comparación a los materiales convencionales. La elección de materiales que funcionen como aislamiento térmico en el bloque de habitaciones mejora el rendimiento debido a la reducción de la capacidad requerida por el sistema de calefacción. Siendo así, el diseño del sistema de climatización es en base a los materiales de construcción propuestos.



Figura 3.11 Carga térmica materiales convencionales vs materiales propuestos

A continuación, presenta la comparación de precio unitario de los materiales correspondientes a las opciones de construcción planteadas:

Tabla 3.4. Materiales de Construcción Convencionales

Opción 1: Materiales Convencionales		
Material	Cantidad	Precio Unitario [\$]
Pared		
Bloque Ladrillo	unid	0.12
Acabado interior y exterior	1 m2	5.75
Techo		
Chova asfáltica	1 m2	13.25
Madera 2"	1 m2	17.25
Ventanas		
Ventanas de vidrio deslizante 2.50 x 3 m	unid	65
Puerta		
Madera tipo panel de lural 2 x 0.6 m	unid	242.82

Tabla 3.5. Materiales de Construcción Propuestos

Opción 2: Materiales Propuestos		
Material	Cantidad	Precio Unitario [\$]
Pared		
Bloque Concreto	unid	0.67
Aislamiento R-6 de lana de vidrio	1 m2	18
Madera 1"	1m2	10
Acabado Interior y exterior	1 m2	5.75
Techo		
Madera 1.5"	1 m2	15
Aislamiento R-1.5	1 m2	4.95
Tejas Asfalto	1 m2	385
Ventanas		
Ventanas deslizables doble vidrio baja emisividad con marco de fibrade vidrio aislado 2.50 x 3 m	unid	163
Puerta		
Madera núcleo compacto de pino de 2 x0.6 m	unid	251.42

Los materiales de construcción propuestos tienen un costo unitario mayor en comparación con los otros materiales. Los precios fueron tomados del generador de precios Ecuador, CYPE S.A. En el anexo #. se muestra las figuras #, # de la configuración de los materiales de construcción

3.2 Diseño de Sistema de Calefacción por Piso Radiante

En la tabla 3.6. se detalla el panel de piso radiante para nuestra instalación de piso radiante.

Tabla 3.6. Detalle del Panel

Tipo de panel	Losa empotrada
Ancho de Losa [m]	0.10
Profundidad de tubería [m]	0.06
Área de piso [m^2]	240

En la tabla 3.7 de detalla el patrón de la instalación de piso radiante para la instalación de las habitaciones.

Tabla 3.7. Detalle de Patrón Piso Radiante

Detalle de Patrón de Piso Radiante	
Tipo distribución de serpentín	Simple de una pared
Paso entre serpentín [m]	0.30 (13 in)
Tipo de tubería	Barrier PEX ½"

En la Tabla 3.8 se describe los componentes del piso radiante de losa empotrada basado en el manual de diseño de (Uponor , 2011), se muestra en la Figura 3.2 el esquema general del piso radiante.

Tabla 3.8 Componentes de piso radiante

1	Base del piso
2	Aislante
3	Tubería Pex ½"
4	Cemento

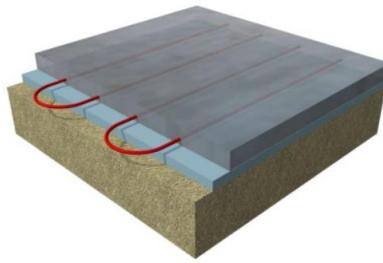


Figura 3.22 Componentes piso radiante

En la Figura 3.3 se muestra el esquema de la instalación de piso radiante diseñado y como varia la temperatura del agua en el circuito en la entrada y la salida. Podemos resaltar que se usa el patrón simple para una pared debido a que es donde se concentra las pérdidas de calor en cada habitación. Así mismo, se puede observar que la zona se compone de 10 circuitos de piso radiante todos conectados a un colector de distribución.

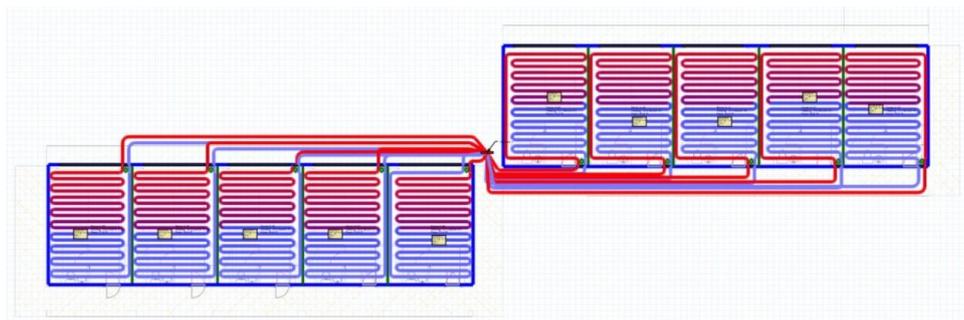


Figura 3.33. Esquema de planta temperatura del circuito

En la Figura 3.4 se puede observar la disposición de los circuitos cerrados de piso radiante, así como la disposición de ventanas, puertas y paredes en habitaciones.

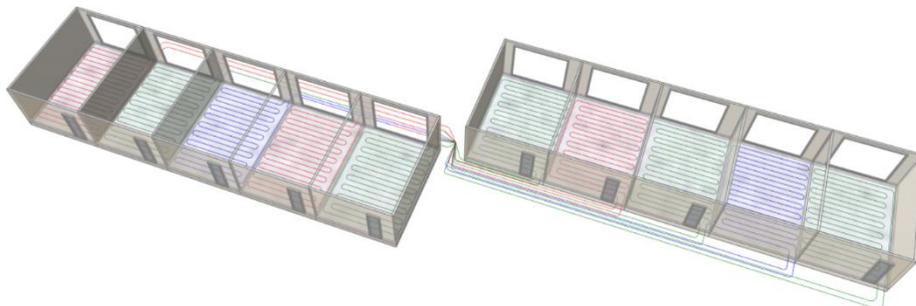


Figura 3.44. Vista 3D de circuitos piso radiante.

En la Tabla 3.9 se presenta el resumen de resultados de dimensionamiento para todo el sistema de 10 circuitos cerrados de piso radiante:

Tabla 3.9. Resumen de Resultados Piso Radiante

Tipo de fluido	Temperatura requerida [°C]	Diferencial temperatura [°C]	Volumen total [m ³]
Agua	40	20	0.12
Flujo total [m ³ /h]	Pérdida cabezal [mH ₂ O]	Carga Total calefacción [kW]	Dimensión tubería [m]
0.98	2.38	15.47	1012.9

En la Tabla 3.10 se presenta los resultados del dimensionamiento de piso radiante para cada habitación del bloque.

Tabla 3.10 Resultados de Sistema Piso Radiante por habitación

No Habitación	Área [m ²]	Longitud del circuito [m]	Carga de diseño por habitación [kW]	Tasa de Transferencia [$\frac{W}{m^2}$]	Temperatura en Superficie [°C]	Temperatura min requerida [°C]
A-02	25.46	75.89	0.99	41.63	25.16	40.00
A-01	25.64	77.11	0.80	33.12	25.44	37.38
A-03	25.64	77.42	0.80	33.12	25.44	37.38
A-05	25.91	77.11	1.00	41.32	25.11	40.00
A-04	25.46	82.29	0.80	33.44	25.44	37.17
A-08	25.92	76.81	1.00	41.33	25.11	40.00
A-09	25.73	77.11	0.80	33.12	24.33	37.39
A-06	25.92	76.51	0.99	41.32	25.11	40.00
A-07	25.46	76.20	0.76	31.54	24.16	36.88
A-11	25.82	77.11	0.80	33.12	24.33	37.33

3.3 Componentes del Sistema de Calefacción Piso Radiante

La selección de los componentes del sistema de piso radiante con tanque de agua caliente se basó en el manual de diseño de Zurn (Zurn , 2006), el cual requiere los siguientes componentes hidrónicos (Tabla 3.11).

Tabla 3.11. Componentes hidrónicos del sistema de calefacción

1	Tanque de Almacenamiento de Agua Caliente
2	Manómetro
3	Válvula de servicio
4	Salida de Aire (Air Vent)
5	Purgador de Aire (Air Purger)
6	Tanque de Expansión
7	Válvula de Servicio
8	Termómetro
9	Válvula de cierre tipo bola
10	Bomba de recirculación
11	Válvula de cierre tipo bola
12	Manifold 10 Vías
13	Termómetro

En la Figura 3.5 se muestra el detalle de los componentes hidrónicos para el circuito de piso radiante.

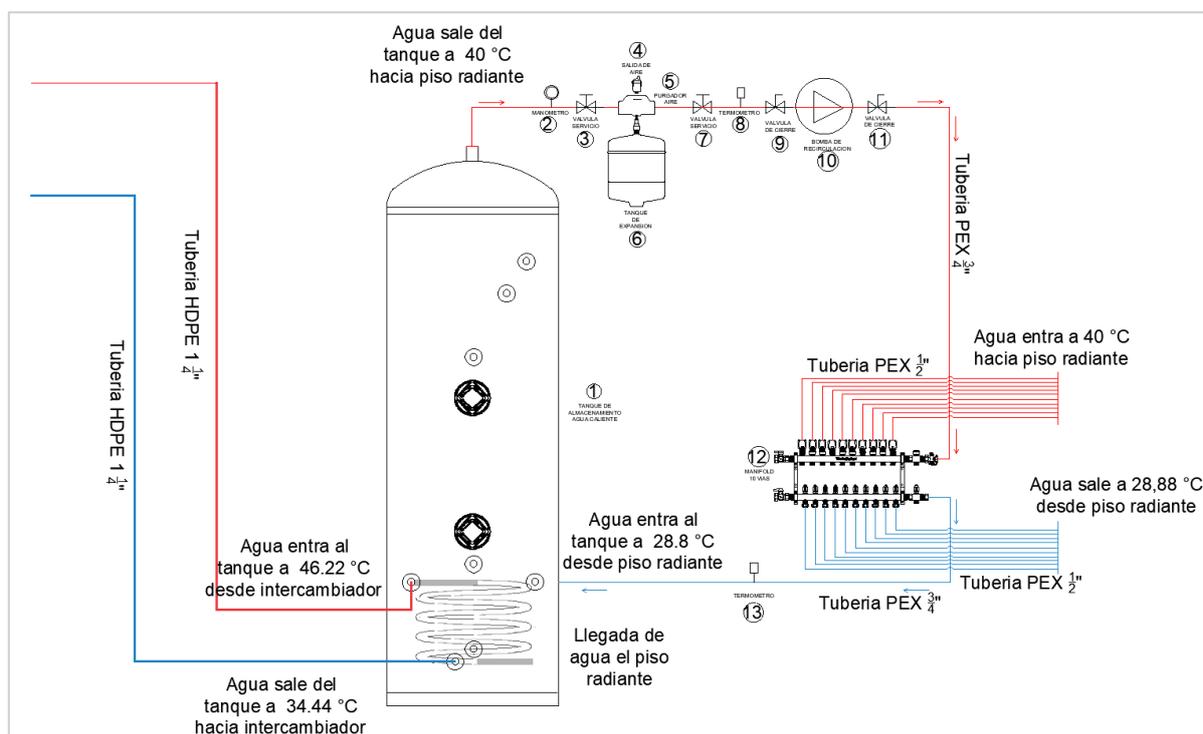


Figura 3.55. Esquema de componentes hidrónicos para calefacción por piso radiante.

En la Tabla 3.12. se detallan los componentes del sistema de control para el piso radiante, la zonificación del espacio es de una zona para las 10 habitaciones, siendo así

el sistema de control de temperatura es sencillo y se compone solo de termostato y un switch relay. (Zurn , 2006)

Tabla 3.12. Componentes de control para piso radiante

1	Termostato WI-FI programable
2	Switch relay de comunicación

En la Figura 3.6 se muestra un diagrama del sistema de control, cuando se requiere elevar la temperatura de la habitación el termostato manda la señal al switch relay al cual está conectado, y este acciona la bomba de recirculación de la zona, lo cual permite controlar el flujo de agua caliente hacia las habitaciones, regulando así la temperatura. (Woodson, 2010).

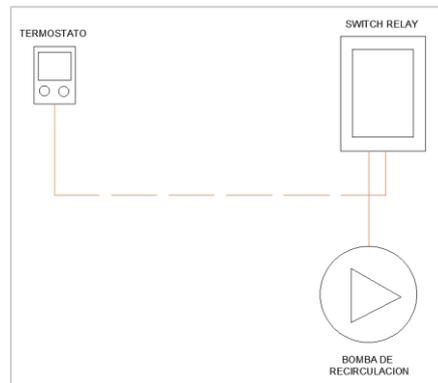


Figura 3.66. Diagrama de sistema de control piso radiante.

3.4 Dimensionamiento de Tanque de Expansión para piso radiante

En la Tabla 3.13 se detalla los parámetros de selección para el tanque de expansión, es necesario este componente en un sistema hidrónico para regular el volumen del agua debido dada la temperatura (ASPE, 2007). Siendo así en la tabla 3.14 se detalla el tanque dimensionado para nuestro sistema de piso radiante con una capacidad de 2.3 galones.

Tabla 3.13 Parámetros de Selección de Tanque de Expansión

Min Temperatura [°C]	4 (40 F)
Max Temperatura [°C]	82.2 (180 F)
Min Presión de Operación [bar]	0.83
Max Presión de Operación [bar]	1.86
Factor de Aceptación del Tanque	0.360
Factor de Expansión	0.0276

Volumen del Sistema [m^3]	0.115 (30.37 gal)
Volumen del Tanque requerido [m^3]	0.008 (2.3 gal)

Tabla 3.14. Dimensionamiento Tanque de Expansión

Volumen Tanque de Expansión [m^3]	0.016 (4.4 gal)
Fluido	Agua
Material Tubería	PEX
Diámetro de tubería [mm]	19.05 ($\frac{3}{4}$ pulg)
Modelo	Radiant Extrol RX-30

3.5 Dimensionamiento de Bomba de Recirculación de Piso Radiante

En la tabla 3.15. se muestran los parámetros de selección para el dimensionamiento de la bomba de recirculación utilizamos el flujo de agua mínimo que la bomba (ASPE, 2007) necesita recircular hacia el sistema del piso radiante, la tubería del circuito está dimensionada con tubería de PEX de 19.05 mm ($\frac{3}{4}$ in). La selección de la bomba de recirculación se verifico con el software de selección de *Taco Hydronics Pump Selection*.

Tabla 3.15. Parámetros de selección de bomba recirculación

Flujo [$\frac{m^3}{h}$]	0.98 (4.4 gpm)
Cabezal [mH_2O]	2.62 (8.6 FtH_2O)
Eficiencia [%]	80
Min Temperatura [°C]	15
Max Temperatura [°C]	71.1

En la tabla 3.16 se detallan las especificaciones de la bomba de recirculación seleccionada, se opta por una bomba del fabricante *Taco Hydronics* para sistemas de piso radiante. En el apéndice I, se adjunta la ficha técnica de la bomba de recirculación.

Tabla 3.16. Bomba de recirculación seleccionada

Potencia [HP]	1/25
Material	Hierro
Modelo	00R-F6-I IFC
Marca	TACO

3.6 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento de agua caliente para piso radiante.

El agua de alimentación que circula por los circuitos corresponde a agua que la vertiente a 4°C, sin embargo, solo tendrá esta temperatura una vez cada que se haga el mantenimiento preventivo al sistema debido a que el circuito es cerrado. Por ello, se debe emplear un ablandador que realice el tratamiento de agua de reposición. Para seleccionar el ablandador se considera el caudal de las tuberías del piso, la dureza del agua de la vertiente y el tiempo que ablandará agua.

Tabla 3.17 Selección del ablandador

Dimensionamiento del ablandador	
Dureza del agua	300ppm
Caudal [Litros/segundos]	0.86 (13,63 GPM)
Tiempo promedio de reposición del agua	10 minutos
<i>Capacidad del ablandador</i>	<i>2387,97 (GPG)</i>
Selección del ablandador	
Modelo	Ablandador VA-025
Marca	Vulcano

De acuerdo con la tabla 3.17, se necesita un ablandador de 2387,97 de granos de dureza por galón de agua, al usar este tipo de equipos, se garantiza una larga vida útil de los equipos hidrónicos.

Por otra parte, de acuerdo con los resultados establecidos en la sección 3.2, se establecen los parámetros de diseño para el tanque acumulador de agua en el circuito secundario correspondiente al suministro de agua para piso radiante.

Tabla 3.18 Parámetros de diseño del tanque

Parámetros de diseño	
Temperatura de entrada al piso	40°C (104°F)
Temperatura de salida del piso	28,88 °C (84°F)
Masa de agua	115,17 kg
Calor específico del agua	4186 J /kg - °C
Q (almacenamiento)	13,4 kW

Tabla 3.19 Dimensionamiento de tanque de agua para piso radiante

Tanque de Agua Caliente Piso Radiante	
Tipo	Solar Directo sin ventilación
Capacidad [m^3]	0.150 (150 litros)
Dimensiones [m x m]	1.3 x 0.55
Modelo	SOL150d

En las tablas 3.18 y 3.19, se observan los parámetros de diseño y el dimensionamiento del tanque respectivamente. Los datos son dimensionados en escenario de que todas las habitaciones están usando calefacción. Además, este tanque permitirá almacenar el calor durante un día sin usar el circuito primario.

3.7 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento de agua caliente para red hidrosanitaria.

En un sistema termodinámico no estacionario, los acumuladores tienen como función almacenar el agua que se produce en exceso en periodos donde la demanda de agua caliente es inferior a la capacidad de producción. El agua que se produce en exceso se almacena en el depósito para ser usada en las horas donde la demanda de agua caliente es superior a la capacidad de producción. Para dimensionar el tanque de almacenamiento de agua, se determina la demanda de agua caliente que se requiere en las distintas áreas del complejo (Ver Tabla 3.20).

Tabla 3.20 Consumo de agua caliente

Consumo típico de agua caliente para el nuevo bloque de habitaciones	
Número de personas	30
Consumo de agua caliente por persona (Alojamiento)	50 lt/ día
Capacidad total para satisfacer la demanda	1500 lt/día
Temperatura del agua caliente	60°C

Por lo general, el agua calentada por la geotermia no se utiliza de manera inmediata, por lo que se debe almacenar en tanques de acuerdo con el uso. A su vez, el tanque deberá ser aislado para evitar las pérdidas de calor especialmente en las noches donde la temperatura es más baja. Se debe considerar también, el aislamiento en las tuberías en la entrada y salida, usando poliestireno expandido (EPS) cubierto con una lámina delgada de acero galvanizado, protegiendo contra la lluvia y humedad, evitando las pérdidas de calor.

Se calcula cuanta energía es necesaria para el sistema de acuerdo con la diferencia entre las temperaturas de agua fría y agua caliente.

Es importante mencionar que la temperatura de uso de agua caliente es de 40°C, sin embargo, la fuente de agua no posee ningún tratamiento potabilizador previo al uso humano, dado que se trata de una vertiente de fuente natural, por ello se debe llevar la temperatura del agua a 70°C, para evitar la propagación de la bacteria Legionella que es causante de la legionelosis.

Tabla 3.21 Dimensionamiento del Tanque ACS

Dimensionamiento del tanque ACS	
Masa de agua	1500 m ³ al día
Calor específico del agua	4186 J/kg - °C
Temperatura de la vertiente	15°C
Temperatura Requerida	60°C
Transferencia de calor para satisfacer la demanda	78,46 kW
Temperatura máxima de agua calentada por geotermia	30°C

Tabla 3.22 Selección del tanque ACS

Selección del tanque Agua Caliente Sanitaria	
Tipo	Solar Indirecto sin ventilación
Capacidad de diseño [litros]	1500 m ³ /día
Dimensiones [m x m]	2.03 x 0.63
Modelo	SOL300i
Cantidad de Equipos	3 unidades

Tabla 3.23 Selección del calentador auxiliar para ACS

Selección del Calentador Auxiliar para ACS	
Caudal [GPM]	4.22
Dimensiones [mm x mm x mm]	440 x 200 x 700
Marca	Camplux
Modelo	BW422LP
Fuente de energía	GLP
Cantidad de Equipos	1 unidad

En las tablas 3.22 y 3.23, se observan las características de los tanques seleccionados para abastecer la demanda de agua caliente de uso sanitario que se requieren, para los tanques donde la fuente de energía es la geotermia se usan interacumuladores de doble serpentín, para abastecer la demanda se necesitará ubicar un calentador de agua que soporte los 30°C que faltan de calentar. Los tanques son conectados en serie a medida que se usan se abastecen su capacidad.

3.8 Dimensionamiento del intercambiador de calor tipo serpentín.

De acuerdo con los cálculos del dimensionamiento del intercambiador de calor tipo serpentín de flujo cruzado. En la figura 3.7, se presenta un esquema de la sección transversal de la tubería. En la sección A (centro del tubo) se encuentra el fluido que circula en el circuito primario, cuando el fluido ingresa al serpentín posee una temperatura de 34,44°C igual a la temperatura de salida del tanque acumulador de agua caliente, la transferencia corresponde a convección entre el fluido interno y la tubería. La

sección B hace referencia al contorno de la tubería de material HDPE, la transferencia de calor corresponde a conducción entre el fluido interno y el fluido en el exterior, dado a que el fluido exterior es estacionario, se asume que la temperatura de la superficie de la tubería es la misma que la del medio es decir una temperatura de 58°C.

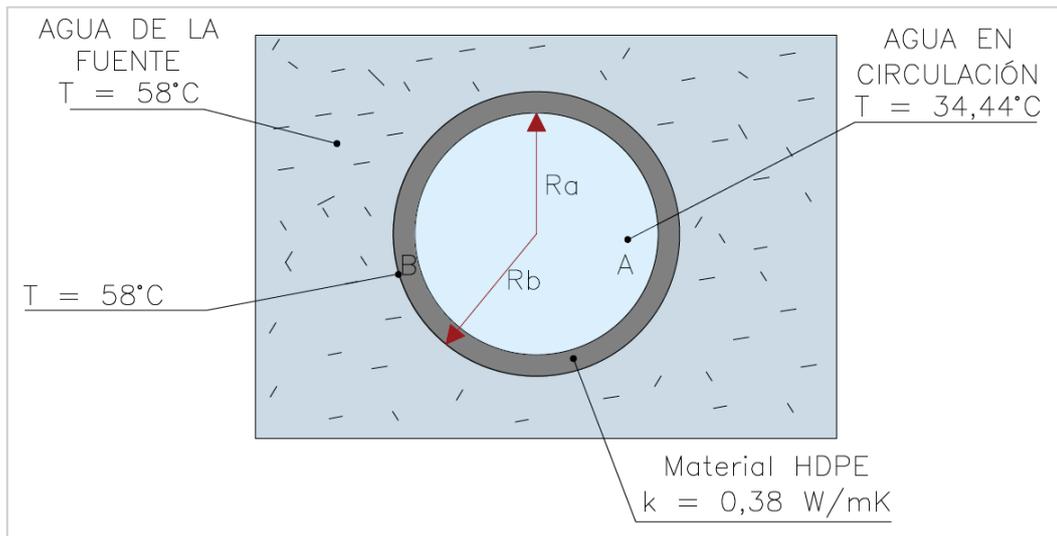


Figura 3.77. Esquema transversal de la tubería

Es importante mencionar que, para el cálculo se asumió un flujo de agua desarrollado y las propiedades del agua constante. Además, se asume que la pared exterior de la tubería está a 58°C.

Tabla 3.24 Resistencias Térmicas

Resistencias térmicas	
Resistencia a la convección en el interior del tubo (Sección A)	0,00394 $\frac{mK}{W}$
Resistencia a la conducción en el tubo (Sección B)	0,005 $\frac{mK}{W}$

Tabla 3.25. Coeficientes de transferencia de calor

Coeficientes de transferencia de calor	
Coeficiente de convección (A)	2884,71 $\frac{W}{m^2K}$
Coeficiente de conducción (B)	0,4 $\frac{W}{m^2K}$
Coeficiente Global de transferencia de calor (U)	111,84 $\frac{W}{mK}$

Tabla 3.26 Capacidad del intercambiador

Capacidad del intercambiador	
Q (tasa de transferencia de calor)	65,18 kW
Longitud de la tubería	91,04 m
Número de vueltas del serpentín	11
Número de serpentines	6

Tabla 3.27 Capacidad de la piscina

Capacidad de la piscina	
Altura del serpentín	0,252 m
Separación de entre serpentín	0,70 m
Longitud de la piscina	2,30 m
Ancho de la piscina	1,60m

En la tabla 3.24 se observan los valores calculados para las resistencias térmicas, en la sección A, se presenta un valor de $2884,71 \frac{W}{m^2K}$ que corresponde a una alta capacidad de transmitir el calor desde el centro de la tubería. Mientras que en la sección B, el coeficiente de conducción es de $0,4 \frac{W}{m^2}$ un valor bajo dado al material escogido. En la tabla 3.26 se detalla los resultados correspondientes a la capacidad dimensionada para el intercambiador, 65,18 kW son requeridos para satisfacer el sistema en las temperaturas programadas, la longitud de la tubería corresponde a 91,04 m, siendo 7 el número de vueltas, por ende, se requieren colocar 6 serpentines en una piscina de 2,30m x 1,60m de dimensión detallados en la tabla 3.27.

A continuación, se detalla el esquema de conexión de los serpentines en la piscina:

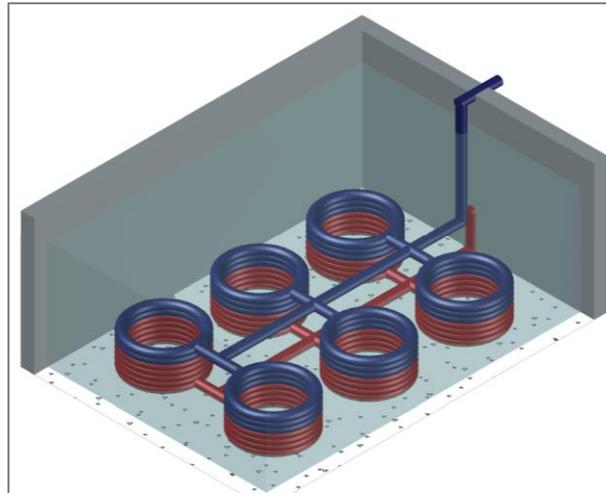


Figura 3.88 Diagrama de instalación de los intercambiadores

En la Figura 3.8 se observa la distribución de los serpentines, siguiendo los resultados que se muestran en la tabla 3.27 se ubican a 70 cm de profundidad en la piscina.

3.9 Dimensionamiento de bomba de recirculación del circuito primario y circuito ACS.

Para el dimensionamiento de la bomba de recirculación en el circuito primario y circuito ACS, se utiliza el caudal de agua máximo que la bomba necesita recircular hacia el tanque acumulador para piso radiante. Luego en el circuito de ACS, siguiendo el mismo principio, se selecciona la bomba de acuerdo con el caudal máximo querido para circular el agua en los tanques de ACS. La tubería del circuito es de material polietileno de alta densidad (HDPE), con un diámetro de 32mm y un espesor de 2mm. En la tabla 3.28 se detallan las características para las bombas.

Tabla 3.28 Parámetros de bomba de recirculación

Parámetros de Selección de Bomba Recirculación	
Caudal [$\frac{l}{min}$]	50 (13.2 GPM)
Cabezal [m]	4,57 (15ft)
Min Temperatura [C]	35°C
Max Temperatura [C]	47°C
Bomba de Recirculación	
Potencia [HP]	1/2
Material	Hierro fundido
Modelo	2400-50-3P
Cantidad	2 unidades

3.10 Cotización del Proyecto

En la tabla 3.29, se detalla la cotización para cada uno de los componentes de los sistemas diseñados, la cotización incluye materiales, equipos y mano de obra.

Tabla 3.29 Cotización del sistema de aprovechamiento de piso radiante

COTIZACION SISTEMA DE APROVECHAMIENTO GEOTERMICO PARA CALEFACCION POR PISO RADIANTE Y DIMENSIONAMIENTO DE RED HIDROSANITARIA.					
Piso Radiante					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Suministro de Equipos					
1.1	Tanque de almacenamiento de Agua Caliente Tipo Solar Directo Sin Ventilación 150 Litros. Marca: gledhill Modelo:SOL150d	unid	1.00	\$ 820.98	\$ 820.98
1.2	Tanque de expansión AMTROL Radiant Extrol Modelo:RX-30 @4.4 gal con purgador de aire, salida de aire.	unid	1.00	\$ 103.95	\$ 103.95
1.3	Bomba de recirculación cast iron Taco Heating Radiant 1/25 HP	unid	1.00	\$ 180.12	\$ 180.12
Suministro de Materiales y Accesorios					
2.1	Tubería ½" Barrier Pex	m	1013.00	\$ 1.02	\$ 1,030.64
2.2	Rollo de Banda Perimetral anti-dilatación	m	480.00	\$ 0.88	\$ 420.00
2.3	Plancha de panel aislante termo conformado	m2	240.00	\$ 8.00	\$ 1,920.00
2.4	Rollo de aislante para losa de concreto cont.37 m2	unid	7.00	\$ 197.40	\$ 1,381.80
2.5	Manómetro de acero inoxidable 2-1/2"	unid	1.00	\$ 12.18	\$ 12.18
2.6	Tubería PEX 3/4"	m	3.00	\$ 22.41	\$ 67.24
2.7	Válvula de servicio para aislamiento de presión, incluye válvula de alivio, válvula de servicio de ¾" para agua caliente.	unid	2.00	\$ 58.97	\$ 117.94
2.8	Set de Válvula de cierre tipo bola ¾" contiene 2 unidades	unid	1.00	\$ 19.99	\$ 19.99
2.9	Manifold 10 vías con medidores de flujo, válvulas de bola de cierre, válvulas de drenaje y válvulas de equilibrio manual.	unid	1.00	\$ 285.47	\$ 285.47
2.1	Termómetro de agua caliente 2- ½"	unid	2.00	\$ 23.08	\$ 46.16
2.1	Paquete de accesorios de tubería ½" para conexión incluye abrazaderas, codo de oreja caída, acoplamientos	unid	1.00	\$ 60.00	\$ 60.00
2.1	Paquete de accesorios para tubería 3/4" para conexión incluye abrazaderas, codo de oreja caída, acoplamientos	unid	1.00	\$ 89.00	\$ 89.00
2.1	Válvulas de aislamiento ¾" Kit incluye 1 válvula agua caliente, 1 válvula agua fría, 1 válvula de alivio de presión	unid	1.00	\$ 58.97	\$ 58.97
2.1	Termostato Wi-Fi programable HONEYWELL RTH6580WF	unid	1.00	\$ 25.00	\$ 25.00

2.2	Switch Relay de Comunicación TACO SR501-4	unid	1.00	\$ 65.49	\$ 65.49
Mano de Obra					
3.2	Mano de Obra por instalación de componentes piso radiante	m2	240.00	\$ 5.00	\$ 1,200.00
3.3	Mano de Obra por instalación de componentes hidrónico de piso radiante. Incluye puesta en marcha del sistema	glb	1.00	\$ 2,500.00	\$ 2,500.00
Subtotal					\$ 10,404.93
Intercambiador de Calor					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Suministro de Equipos					
4.1	Bomba recirculación en circuito primario	U	1.00	\$ 759.84	\$ 759.84
4.2	Bomba recirculación en circuito ACS	U	1.00	\$ 759.84	\$ 759.84
Suministro de Materiales y Accesorios					
5.1	Válvulas y accesorios	Glb	1.00	\$ 1,000.00	\$ 1,000.00
5.2	Lamina de acero galvanizado	m	75.00	\$ 2.00	\$ 150.00
5.3	Tapa con panelería tipo sanduche e=10cm	m2	3.70	\$ 120.00	\$ 444.00
5.4	Tubería de 32mm	m	200.00	\$ 1.50	\$ 300.00
5.5	Poliestireno expandido	m	75.00	\$ 1.60	\$ 120.00
Mano de Obra					
6.1	Mano de obra por apertura de cárcamo para entierro de tubería. Incluye materiales	ml	20.00	\$ 60.00	\$ 1,200.00
6.2	Mano de Obra por Recubrimiento pintura epóxido. Incluye materiales	m2	3.70	\$ 30.00	\$ 111.00
6.3	Mano de Obra por Nivelación de piso	m2	3.70	\$ 30.00	\$ 111.00
6.4	Mano de Obra por excavación del área	m2	3.70	\$ 9.50	\$ 35.15
Subtotal					\$ 4,990.83
Agua Caliente Sanitaria					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Equipos					
7.1	Tanque de almacenamiento de Agua Caliente Tipo Solar Indirecto Sin Ventilación 300 Litros. Marca: gledhill Modelo:SOL300i	unid	5	\$ 967.12	\$ 4,835.60
7.2	Calentador de agua Auxiliar @4.22 GPM. Camplux Modelo:BW422LP	unid	1	\$ 399.99	\$ 399.99
Mano de Obra					
8.1	Mano de Obra por instalación de Tanque de almacenamiento de agua caliente	unid	1	\$ 150.00	\$ 150.00
8.2	Mano de Obra por instalación de Calentador de Agua	unid	1	\$ 60.00	\$ 60.00
Subtotal					\$ 5,445.59
Gestión de Obra					
9.1	Diseño del sistema de aprovechamiento de energía geotérmica para calefacción y agua sanitaria. Incluye rediseño de sistema y consultorías posteriores previa a entrega de proyecto.	Glb	1	\$ 8,123.36	\$ 8,123.36

Subtotal	\$ 8,123.36
SUBTOTAL	\$ 28,964.71
IVA (12%)	\$ 3,475.77
TOTAL	\$ 32,440.48

3.11 Análisis económico del proyecto

En esta sección se presenta el análisis económico del proyecto que nos permitirá conocer el retorno de la inversión, así como la viabilidad de este. También se presenta la comparación en costos de instalación y energía del sistema convencional para calefacción y agua sanitaria que actualmente existe en el complejo y el sistema propuesto.

En la tabla 3.30 se detalla la cotización para el sistema convencional de calefacción y agua sanitaria para las 10 habitaciones del nuevo bloque en Terjamanco. Es importante recalcar que se tomó en consideración para esta opción los materiales actualmente utilizados en el bloque ya existente de habitaciones.

Tabla 3.30 Cotización sistema convencional para calefacción y agua sanitaria

COTIZACION SISTEMA DE CONVENCIONAL PARA CALEFACCION Y AGUA SANITARIA.					
Calefacción					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Equipos					
1.1	Radiadores eléctricos 2000 W, hasta 25 m ² Marca: HoneyWell	10	unid	156	1560
Subtotal					\$ 1,560.00
Agua Caliente Sanitaria					
ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Equipos					
2.1	Calentador de agua Auxiliar 26 litros. 1.80 LPG NPG 1.95 Kg. Instamatic GO-179	unid	5	\$378.99	\$1,894.95
Mano de Obra					
3.1	Instalación de Calentador de agua	glb	1	50	50
Subtotal					\$ 1,944.95
SUBTOTAL					\$ 3,504.95
IVA (12%)					\$ 420.59
TOTAL					\$ 3,925.54

Para analizar la viabilidad del sistema propuesto en comparación con el sistema convencional se detallan en las tablas 3.31 y tabla 3.21 los costos iniciales por implementación para ambos sistemas.

Tabla 3.31 Sistema Convencional de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria

RESUMEN DE COMPONENTES COTIZACION		
No.	Descripción	Precio Total
1	Radiadores Eléctricos: Equipos, Materiales y Mano de Obra	1,560.00
2	Agua Caliente Sanitaria: Equipos, Materiales y Mano de Obra	1,944.95
SUBTOTAL		3,504.95
IVA (12%)		420.59
TOTAL		3,925.54

Tabla 3.32 Sistema Propuesto de Calefacción y Agua Sanitaria

RESUMEN DE COMPONENTES COTIZACION		
No.	Descripción	Precio Total
1	Piso Radiante: Equipos, Materiales y Mano de Obra	10,404.93
2	Intercambiador de Calor: Equipos, Materiales y Mano de Obra	4,990.83
3	Agua Caliente Sanitaria: Equipos, Materiales y Mano de Obra	5,445.59
4	Gestión de Obra	8,123.36
SUBTOTAL		28,964.71
IVA (12%)		3,475.77
TOTAL		32,440.48

En la tabla 3.33 se muestra el consumo energético, así como el costo por año de operación para ambas opciones de sistema, donde el sistema convencional es el que genera mayor consumo y costo eléctrico. De igual manera, según la tabla el sistema convencional requiere más cantidad de GLP que el propuesto. El costo de operación anual es 14 veces menor para el sistema propuesto que para el convencional en energía eléctrica, por otro lado, para GLP el sistema propuesto consumo 3 veces menos que el sistema convencional.

Tabla 3.33 Consumo Eléctrico Anual y Costo Eléctrico Anual

	Sistema Convencional de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria	Sistema Propuesto de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria
Consumo Eléctrico Anual [kWh/año]	26400.00	1848.00
Costo Eléctrico Anual [\$]	2428.80	170.02

Tabla 3.34 Consumo GLP Anual y Costo GLP Anual

	Sistema Convencional de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria	Sistema Propuesto de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria
Consumo GLP Anual [kg/año]	6759.33	1866.25
Costo GLP Anual [\$]	713.48	196.99

En la tabla 3.34 para ambos sistemas se asume que la calefacción se enciende 8 horas al día, en todos los cuartos, durante 25 días al mes, con un precio de 0.092kWh (Agencia de Regulacion y control de electricidad, 2019) de electricidad. Por otro lado, para GLP se fija el precio de la bombona con 45 Kg (La Hora, 2021) de gas de uso comercial en 4.75\$ con un tiempo de operación de los calentadores de 2.5 h/día por calentador.

Tabla 3.35 Costo de Energía Anual: Sistema Convencional vs Sistema Propuesto

Costos de Energía Anual	
Sistema Convencional de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria	Sistema Propuesto de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria
\$3,142.28	\$367.01

En la tabla 3.35 se presentan los costos de energía eléctrica y GLP anuales tanto para el sistema convencional como para el sistema propuesto. El costo de energía total es mayor para el sistema convencional, que para el propuesto. El ahorro en gastos por energía eléctrica y GLP al implementar el sistema propuesto es de \$ 2775.27 al año. Además, es importante mencionar que el Ecuador es uno de los países en Latinoamérica con los costos más bajos de electricidad y GLP debido al subsidio del gobierno para estas energías. (Ministerio de Energía y Minas, 2020). En nuestro país los precios sin subsidio del GLP es 1.10 \$ por kg (La Hora, 2021) y para la electricidad es de 16.2 USD/KWh (Agencia de Regulacion y control de electricidad, 2019).

En la tabla 3.36 se muestra la comparación de los costos por energía para el sistema convencional y propuesto.

Tabla 3.36. Costo de energía anual Sistema convencional vs Sistema propuesto sin subsidio

Costo de energía anual: sin subsidio	
Sistema Convencional de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria	Sistema Propuesto de calefacción y Agua Caliente Sanitaria
\$11,712.06	\$2,352.25

Sin subsidio el ahorro en gastos por energía eléctrica y GLP al implementar el sistema propuesto es de \$ 9359.81 al año.

3.12 Emisiones de CO₂: Sistema Convencional de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria vs Sistema Propuesto de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria.

Para conocer el impacto ambiental de las alternativas planteadas se presenta en la Tabla 3.37 las emisiones de CO₂ producidas por consumo eléctrico y GLP para cada sistema. Donde el factor de emisión es 0.35 kg CO₂/kWh de energía eléctrica (Operador Nacional de Electricidad CENACE, 2020) y 2.96 kg CO₂/Kg de GLP (Generalitat de Catalunya. Comision Interdparmental del Cambio Climatico, 2011).

Tabla 3.37 Emisiones de CO₂: Sistema Convencional de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria vs Sistema Propuesto de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria

	Emisión de CO ₂ por Consumo Eléctrico kg de CO ₂ /año	Emisión de CO ₂ por Gas Licuado de Petróleo kg de CO ₂ /año
Sistema Convencional de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria	9181.92	20007.62
Sistema Propuesto de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria	642.73	5524.10

Tabla 3.38. Ahorro de Emisiones de CO₂: Sistema Propuesto

Ahorro de Emisiones en Electricidad de ton de CO ₂ /año	8.40
Ahorro de Emisiones en GLP de ton de CO ₂ /año	14.25

Tabla 3.39. Total de Ahorro de Emisiones de CO2

Ahorro Total de Emisiones ton de CO2/año	22.65
Ahorro de Emisiones Ton CO2 del Proyecto (50 años Vida Útil)	1132.5

3.12.1 Viabilidad Económica del Proyecto.

En la Tabla 3.40 se muestra una previsión de flujo de operaciones anuales, a partir de estos se realizó el cálculo del VAN (Valor Actual Neto) que nos indica cual es el importe hoy del proyecto. Adicional se muestran los resultados de TIR (Tasa Interna de Retorno) y el periodo de recuperación de la inversión inicial (Tabla 3.41).

Tabla 3.40. Flujo de operaciones anuales

Año	Flujo	Acumulado	Flujo descontado
0	\$ -32.440,48		\$ -32.440,48
1	\$ 2.885,30	\$ 2.775,27	\$ 2.686,44
2	\$ 2.999,68	\$ 5.774,95	\$ 2.600,46
3	\$ 3.118,60	\$ 8.893,56	\$ 2.517,23
4	\$ 3.242,24	\$ 12.135,80	\$ 2.436,67
5	\$ 3.370,78	\$ 15.506,58	\$ 2.358,68
6	\$ 3.504,41	\$ 19.010,99	\$ 2.283,19
7	\$ 3.643,35	\$ 22.654,34	\$ 2.210,11
8	\$ 3.787,79	\$ 26.442,13	\$ 2.139,37
9	\$ 3.937,95	\$ 30.380,08	\$ 2.070,90
10	\$ 4.094,07	\$ 34.474,15	\$ 2.004,62
11	\$ 4.256,38	\$ 38.730,54	\$ 1.940,46
12	\$ 4.425,13	\$ 43.155,66	\$ 1.878,35
13	\$ 4.600,56	\$ 47.756,22	\$ 1.818,23
14	\$ 4.782,95	\$ 52.539,17	\$ 1.760,04
15	\$ 4.972,57	\$ 57.511,74	\$ 1.703,71
16	\$ 5.169,71	\$ 62.681,45	\$ 1.649,18

Tabla 3.41. Rentabilidad del proyecto con subsidio

Rentabilidad del proyecto		
VAN	TIR	TMAR
1617.17	8.1 %	7.4 %

Por otro lado, cuando se realiza el análisis económico del sistema de aprovechamiento geotérmico para calefacción y agua sanitaria caliente con precios de la energía sin subsidio, la instalación se vuelve rentable en seis años.

Tabla 3.42 Flujo de operación anual

Año	Flujo	Acumulado	Flujo descontado
0	\$-32,440.48		\$ -32,440.48
1	\$ 9,730.88	\$ 9,359.81	\$ 9,060.24
2	\$ 10,116.66	\$ 19,476.47	\$ 8,770.26
3	\$ 10,517.73	\$ 29,994.20	\$ 8,489.56
4	\$ 10,934.71	\$ 40,928.91	\$ 8,217.84
5	\$ 11,368.21	\$ 52,297.12	\$ 7,954.82
6	\$ 11,818.91	\$ 64,116.03	\$ 7,700.22

Tabla 3.43 Rentabilidad del proyecto sin subsidio de energía

Rentabilidad del proyecto		
VAN	TIR	TMAR
2097.42	10.2 %	7.4 %

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

La carga térmica del bloque de habitaciones a partir de la elección de los materiales de construcción propuestos es de 8.75kW. En contraste con los materiales de construcción que se utilizan actualmente en el complejo turístico, la opción propuesta de materiales reduce la carga térmica en un 65.38%, lo que se traduce en la necesidad de un sistema de calefacción de menor capacidad, por ende, más eficiente. El diseño del sistema de calefacción e intercambiador de calor fue diseñado en base a los materiales de construcción propuestos. El sistema de calefacción por piso radiante con carga de 17.52 kW, es empotrado en cemento, se compone de una zona térmica con 10 circuitos cerrados tipo serpentín de distribución de una pared que permiten distribuir la energía en la pared con mayor pérdida de calor de la habitación, la temperatura del agua mínima requerida para el sistema es de 40 °C.

Mediante el diseño del intercambiador de calor tipo serpentín se observa que se necesita una carga de 65,18 kW para satisfacer la demanda de los sistemas de calefacción por piso radiante y ACS. La temperatura que entra al intercambiador es un promedio de temperatura luego de la transferencia que aporta hacia los tanques de acumuladores correspondiente a 34°C, es decir que pierde el 58,62% de la temperatura que posee la fuente. Cabe recalcar que se reducen las pérdidas de calor dado que la temperatura de salida del intercambiador es de 46 °C que se interpreta como baja entalpía, se reducen las pérdidas en las conducciones. Para suplir las cargas la longitud del intercambiador debe ser de 92m, de acuerdo con las medidas de las tuberías y espacio para la piscina se necesitan 6 serpentines de 12 metros cada uno, en conexión híbrida, es decir en serie y paralelo.

Por otra parte, para el sistema ACS, dado a que el intercambiador satisface hasta 65,18kW se necesitará la colocación de un calentador auxiliar. El calentador auxiliar seleccionado es alimentado por GLP, es importante mencionar que la elección se basó considerando las facilidades del cliente. Por último, para los tanques seleccionados en ambos sistemas, en su interior poseen un serpentín que es donde cruzará el fluido de transferencia y cediendo calor al agua contenida dentro de los tanques. En las

instalaciones hoteleras la conexión de los tanques es en serie, donde la zona más caliente de un tanque está conectada con la zona más fría del siguiente tanque, permitiendo estratificar el agua caliente.

Los costos de instalación inicial del sistema propuesto para calefacción y agua caliente sanitaria son \$32440.48, que es ocho veces mayor que los costos de una instalación convencional, sin embargo, debido al uso de la energía geotérmica como fuente se ahorra hasta \$2775.27 al año al implementar la instalación propuesta. En nuestro país la energía eléctrica y el GLP tienen subsidios altos lo que provoca que el ahorro energético sea menor, sin embargo, al ubicar los precios de la energía sin el subsidio proporcionado por el gobierno el ahorro al implementar el sistema geotérmico alcanza hasta los \$9359.81 al año. La alternativa que menos emisiones de gases de efecto invernadero produce es la propuesta con energía geotérmica que produce 78.88% menos de CO₂ al año, lo que se traduce en un ahorro de 22.65 ton de CO₂/año, así el sistema a lo largo de su vida útil de 50 años ahorra 1132.5 ton de CO₂.

Por último, se puede decir que el proyecto se recupera a los 16 años, esto se debe a que el flujo de ahorro por energía es bajo dado a que el país está subsidiado en energía eléctrica y GLP, sin embargo, al hacer una comparación despreciando el subsidio de las energías se refleja la recuperación del proyecto en 6 años. Por ende, se llega a la conclusión que la aplicación del aprovechamiento de energía geotérmica no genera impacto en el país por el factor monetario que el gobierno paga por la energía en el Ecuador.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda mantener la temperatura constante en la piscina, se debe mantener el flujo de entrada de la fuente a 58°C de manera que el agua sea constantemente abastecida además se debe implementar una cubierta tipo aislante de alta resistencia térmica para bajar la transferencia de calor ocurrida entre la temperatura del ambiente y temperatura de la piscina, se puede considerar una cubierta tipo sánduche con poliestireno expandido.

Se recomienda en el circuito de ACS reemplazar el calentador auxiliar de GLP por un colector solar para minimizar la producción de CO₂, así como reducir el consumo de energía eléctrica debido al uso de la energía de la fuente renovable.

Se recomienda el mantenimiento del sistema de aprovechamiento geotérmico debe realizarse una vez por trimestre para evitar el exceso de incrustaciones en los intercambiadores debido a la calidad de agua en la piscina, la selección de la tubería HPDE para el intercambiador facilita las labores de limpieza en el sistema.

Se recomienda explorar el uso de otros materiales de construcción como baldosa en lugar de madera para el piso del bloque de habitaciones que puedan potenciar la transferencia de calor del piso radiante a la superficie.

BIBLIOGRAFÍA

5. BIBLIOGRAFÍA

- Radiant Floor Company. (2007). *Desing & Installation Manual*. Barton, Vermont.
- ACCA. (2010). *Residential Load Calculation. Manual J*. Arlington, Virginia: ACCA, Air Conditioning Contractors of America.
- Agencia de Regulacion y control de electricidad. (2019). *Pliego Tarifario para las empresas electricas de distribucion codificado*. Quito.
- Andrew D. Chiasson, P. (2016). *GEOTHERMAL HEAT PUMP AND HEAT ENGINE SYSTEMS*. . University of Dayton. USA: ASME Press and John Wiley & Sons, Ltd.
- ASHRAE. (2021). *HANDBOOK FUNDAMENTALS* .
- ASPE, A. S. (2007). *Plumbing Engineering Design Handbook. Fundamentals*. Chicago.
- BRGM. (2009). *Geothermie Perspective de IÁDEME* . France.
- Direccion General de Industria, Energia y Minas. (2011). *Guía de la Energía Geotérmica*. Fundacion de la Energia Madrid.
- Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid. (2017). *Guía de Gestión Energética*. Madrid : Mares Ideas Publicitarias, S.L.
- durable, G. p. (s.f.). *La geothermie*. France: ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie.
- Energía, M. d. (2021). *Energía* . Obtenido de Gobierno de Chile : <https://energia.gob.cl/educacion/que-es-la-geotermia>
- Enrique Gea-Izquierdo, E. M.-H.-G. (2012). *ACCIONES DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA LEGIONELOSIS*:. Obtenido de Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2012; 29(2):272-76: https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/rpmesp/v29n2/a18v29n2.pdf
- F., M. T. (2008). *Retrato Microbiológico - Programa de microbiología y micología*. Instituto de ciencias Biomedias, Universidad de Chile . Obtenido de Legionella Pneumophila : <https://www.scielo.cl/pdf/rci/v25n3/art13.pdf>
- Generalitat de Catalunya. Comision Interdparmental del Cambio Climatico. (2011). *Guia Practica para el calculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)*. Catalunya.

- Glassley, W. E. (2018). *Geology and Hydrology of Geothermal Energy*. En L. Y. Bronicki, *Power Stations Using Locally Available Energy Sources. Encyclopedia of Sustainability Science and Technology Series*. USA: Springer Science .
- Gómez, B. G. (Mayo de 2019). *INSTALACIÓN GEOTÉRMICA DE CALEFACCIÓN Y ACS EN UNA VIVIENDA*. Obtenido de ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS - UNIVERSIDAD DE CANTABRIA: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/16243/416568.pdf?sequence=1>
- Hot Water Association UK. (s.f.). *HOT WATER CYLINDERS*. Obtenido de <https://www.hotwater.org.uk/sizing-a-hot-water-cylinder/#:~:text=Obviously%20larger%20houses%20will%20have,45%20litres%20for%20every%20occupant>.
- Hotel Energy Solutions. (2011). *Fostering innovation to fight climate change*. Intelligent Energy Europe.
- INAMHI. (Octubre de 2013). *AGUAS TERMOMINERALES EN EL ECUADOR* . Obtenido de <https://issuu.com/inamhi/docs/termalismo>
- INEN, Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). *Norma Eficiencia Energetica en Edificaciones* .
- Instituto de Ahorro de Energía, IDAE. (2002). *Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura*.
- Instituto Nacional de Energética y energías renovables . (2018). *Plan de líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia* . Obtenido de geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/02/plan_estructurado_para_la_aplicacion_de_las_lineas_de_investigacion_para_el_desarrollo_geotermico_del_ecuador.pdf
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2020). *Evaluación del Potencial de Energía Geotérmica*. Madrid: IDAE.
- J.A. Mantilla, M. C. (17 de Septiembre de 2015). *Diseño de un tanque de almacenamiento de Agua Caliente Sanitaria, Utilizando Materiales de Bajo Costo*. Caldas: Revista CINTEX VOL 20, N°2, 35-53,2015. Obtenido de <https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/view/22/23>
- La Hora. (4 de Agosto de 2021). El subsidio por tanque de gas supera los 13\$. *La hora*.
- Loksha, M. G. (2012). *Geothermal Handbook: Planning and Financing power generation*. ESMAP, Energy Sector Management Assistance Program.

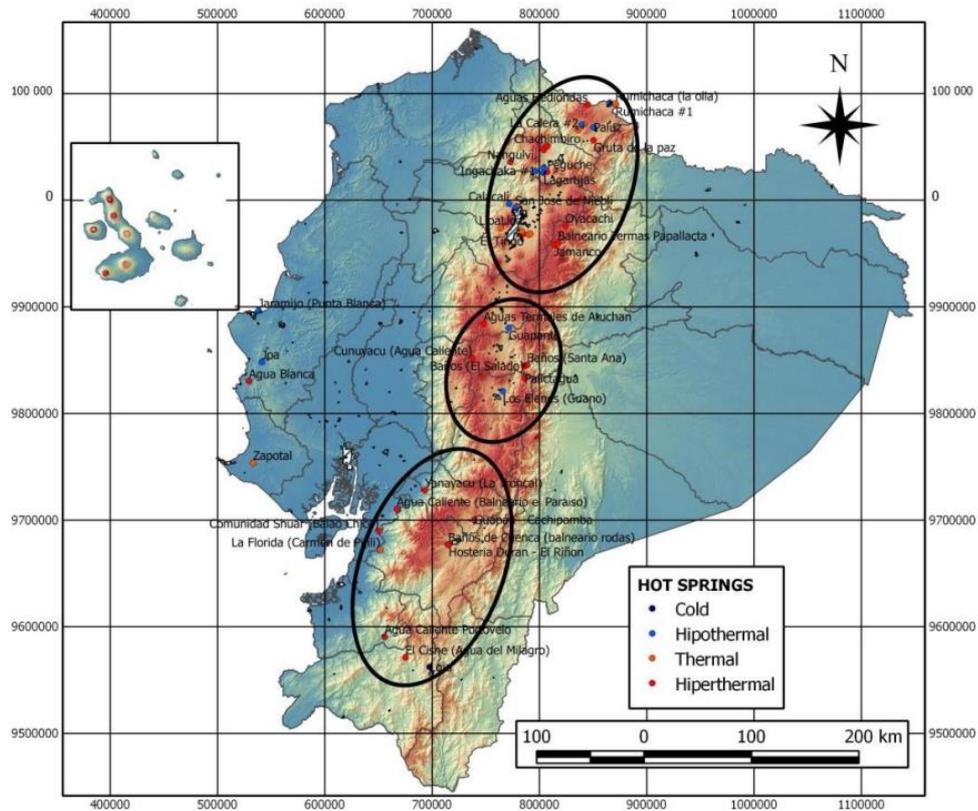
- Lukawski, M. (2018). Geothermal Energy, Nature, Use and Expectations. En L. Y. Bronicki, *Power Stations Using Locally Available Energy Sources*. USA: Springer.
- Madrid, C. d. (2017). *Guía de Gestión Energética en el Sector Hotelero*. Madrid: Mares Ideas Publicitarias, S.L.
- Martín, M. d. (2015). *Análisis de la energía geotérmico de baja temperatura en terrenos volcánicos. Aplicaciones a la construcción en Tenerife*. . Alicante.
- Masabanda, B. F. (Quito de Febrero de 2013). *BID DIGITAL ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL* . Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5740>
- Ministerio de Energía y Minas. (11 de Diciembre de 2020). *Recursos y Energía Gobierno del Ecuador*. Obtenido de <https://www.recursosyenergia.gob.ec/>
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables del Ecuador. (2019). *Balance Energético Nacional*. Direccion de Analisis y Prospectiva Electrica (DAPE).
- Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). (2020). *NEC-HS-CL CLIMATIZACION*. Ministerio de Desarrollo Urbana y Vivienda (MIDUVI).
- Norma Ecuatorina de la Construcción (NEC). (2018). *Eficiencia Energetica en Edificaciones Residenciales* . Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI).
- Operador Nacional de Electricidad CENACE. (2020). *Factor de Emision de CO2 del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador*. Quito.
- REMIGIO, A. A. (17 de Diciembre de 2012). *“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN*. Obtenido de ESPOCH: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2481/1/15T00525.pdf>
- Roger Olsson, R. K. (2015). *Pilot Project Study for Utilization of Geothermal Energy in North-Western Himalayas*. Australia 19-25 April : Proceedings World Geothermal Congress 2015.
- Ruiz, J. (2007). *Calor Natural*.
- Salimpour, M. R. (31 de 01 de 2009). *Heat transfer coefficients of shell and coiled tube heat exchangers*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/232399796_Heat_transfer_coefficients_of_shell_and_coiled_tube_heat_exchangers/citation/download
- Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral. (S/N de S/N de S/N). *Ministerio de Sanidad del Gobierno de España* . Obtenido de https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/3_leg.pdf

- United Nations Environment Programme (UNEP). (2003). *Switched on. Renewable Energy Opportunities in the Tourism Industry. Division of Technology, Industry and Economics Production and Consumption Branch*. Paris, France.
- Uponor . (2011). *Radiant Heating and Cooling Systems Complete Design Assistance Manual*. Apple Valley, USA: Uponor, Inc.
- Wo, J. A. (2009). *Construccion de Edificios Energeticamente Eficiente*. Costa Rica.
- Woodson, R. D. (2010). *Radiant Floor Heating*. Mc Graw Hill.
- Zurn . (2006). *Radiant Heating Design and Application Guide*. Ontario: Zurn Industries Limited.

APÉNDICES

APÉNDICE A

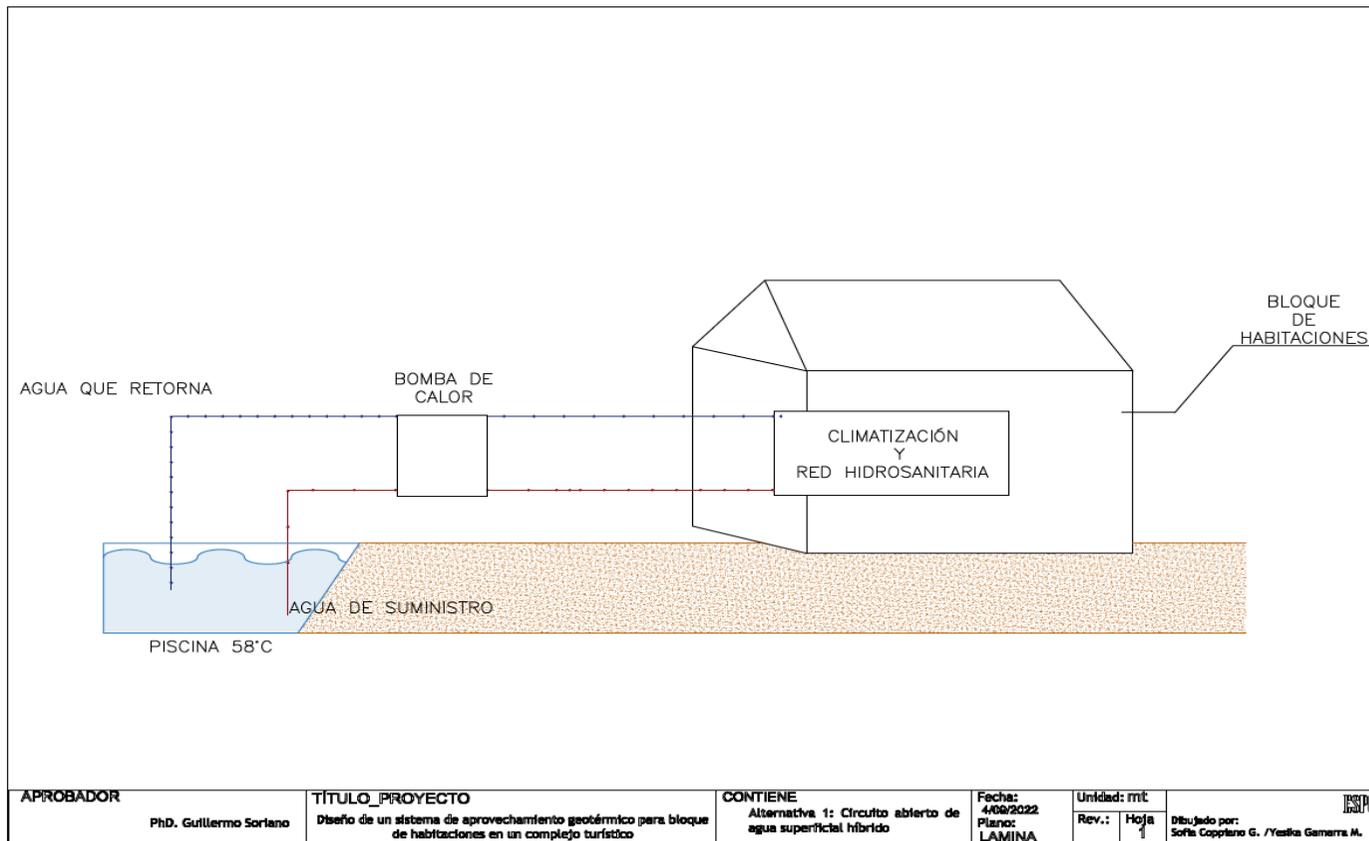
MAPA DEL ECUADOR CON RECONOCIMIENTO GEOTÉRMICO



Fuente: (Instituto Nacional de Energética y energías renovables , 2018)

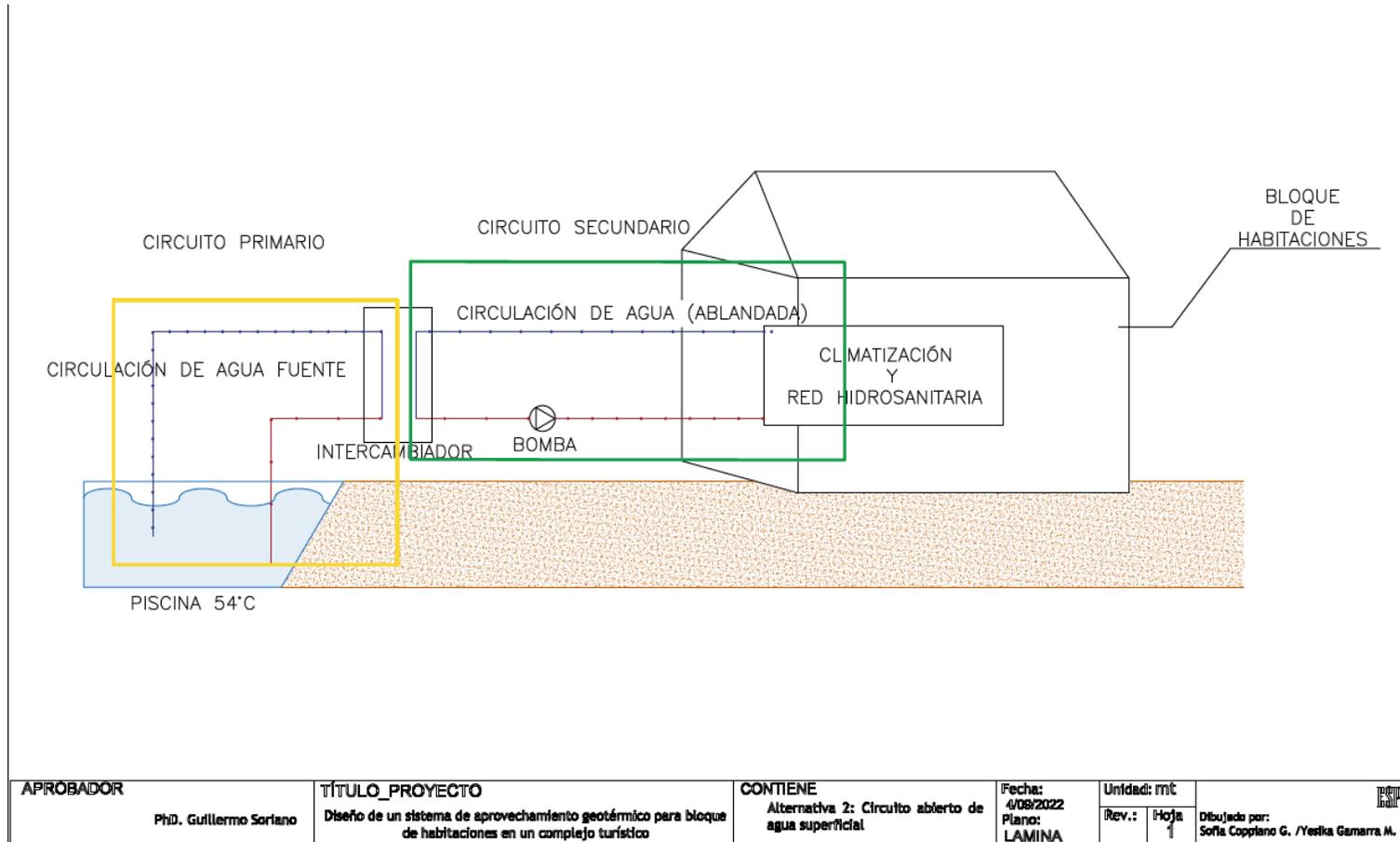
APÉNDICE B

PLANO CIRCUITO ABIERTO DE AGUA SUPERFICIAL HIBRIDO



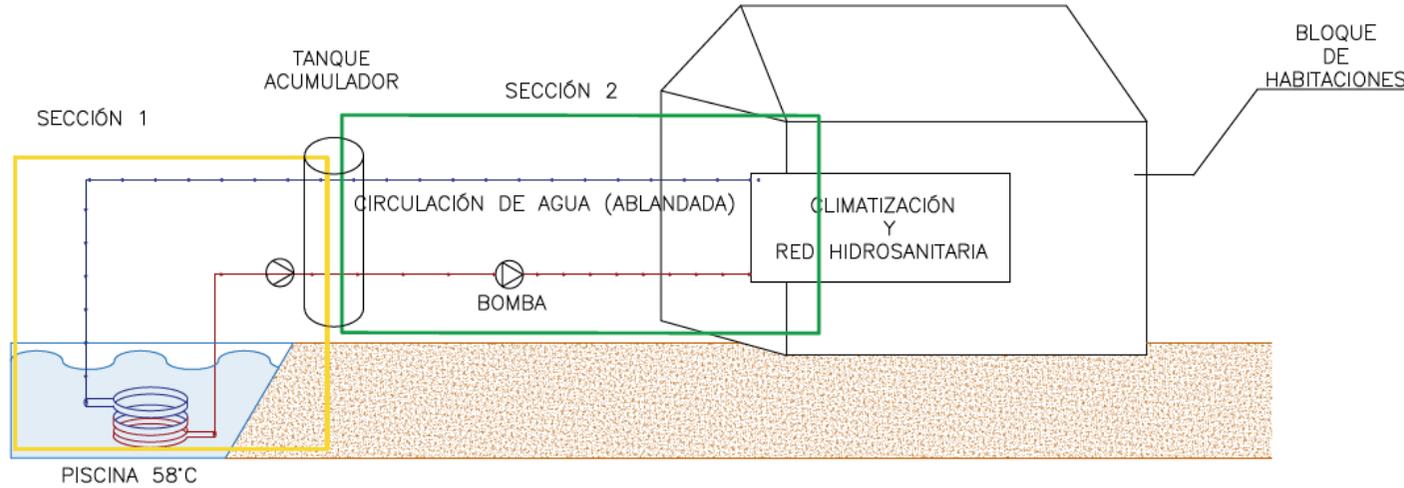
APÉNDICE C

PLANO CIRCUITO ABIERTO DE AGUA SUPERFICIAL



APÉNDICE D

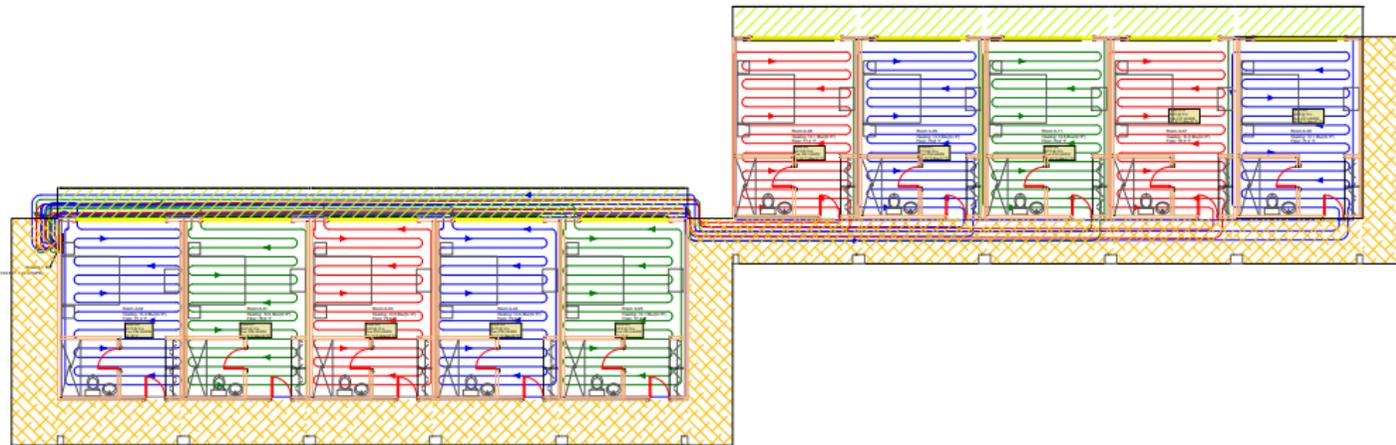
PLANO CIRCUITO CERRADO DE AGUA SUPERFICIAL



APROBADOR PhD. Guillermo Soriano	TÍTULO PROYECTO Diseño de un sistema de aprovechamiento geotérmico para bloque de habitaciones en un complejo turístico	CONTIENE Alternativa 3: Circuito cerrado de agua superficial	Fecha: 4/06/2022 Plano: LAMINA	Unidad: m ^t	Dibuja por: Sofía Copplano G. / Yesika Gamerra M.
				Rev.: Hoja 1	

APÉNDICE E

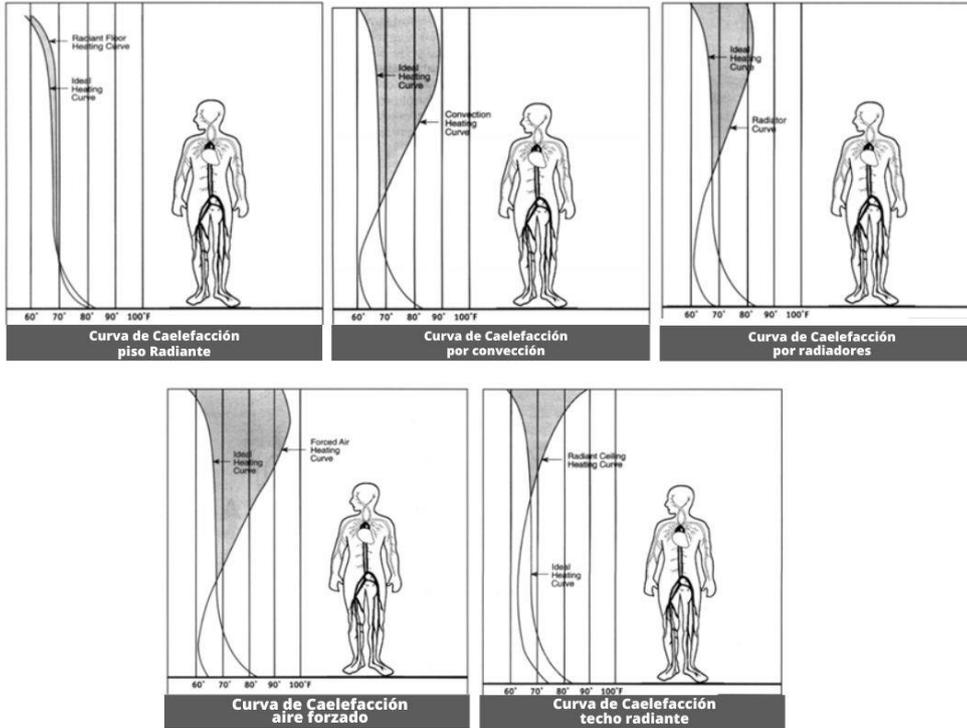
DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍA PARA PISO RADIANTE



APROBADOR PhD. Guillermo Soriano	TÍTULO_PROYECTO Diseño de un sistema de aprovechamiento geotérmico para bloque de habitaciones en un complejo turístico	CONTIENE Diagrama de distribución de tubería para piso radiante	Fecha: 4/08/2022 Plano: LAMINA	Unidad: mt Rev.: 1	Hoja 1 Dibujado por: Sofía Coppiano G. / Yesika Gamarra M.	ESPOL
--	---	---	---	--	--	--------------

APÉNDICE F

CURVAS DE CALEFACCIÓN DE PISO RADIANTE



APÉNDICE G

Archivo Climático de Termas de Jamanco

Termas de Jamanco

Nombre del sitio

-0.374

Latitud [°N]

-78.173

Longitud [°E]

3375

Altitud [msnm]

V, 2

Región climática

Estándar

Modelo irradiancia

Estándar

Modelo temperatura

Perez

Modelo irrad. incl.

2000–2009

Periodo de temperatura

1991–2010

Periodo de radiación

Información adicional

Incertidumbre de valores anuales: Gh = 7%, Bn = 15%, Ta = 0,8 °C

Tendencia de gh / década: -

Variabilidad de gh / año: 6,8%

Sitios de radiación interpolados: Datos de satélite (Parte de los datos de satélite: 100%)

Temperature interpolation locations: Quito/Mariscal (42 km), Latacunga/Cotopaxi (78 km)

P90 and P10 of yearly Gh, referenced to average: 90,5%, 108,4%

Mes	G_Gh	G_Bn	G_Dh	Lg	Ld	N	Ta	Td
	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[W/m2]	[octas]	[°C]	[°C]
Enero	235	207	100	25982	12562	4	11.3	6.5
Febrero	225	191	94	24959	11955	4	11.3	6.5
Marzo	234	170	116	25928	14340	5	11.2	7.0
Abril	229	184	102	25522	13044	5	11.2	7.2
Mayo	218	197	86	24181	11056	5	11.3	6.7
Junio	227	216	86	24981	11113	4	10.9	5.5
Julio	225	218	85	24793	11176	4	10.9	4.4
Agosto	242	237	79	26502	10163	4	11.1	4.0
Setiembre	256	230	93	28156	11903	5	11.3	4.6
Octubre	248	215	101	27353	12774	5	11.5	6.0
Noviembre	231	210	91	25600	11722	4	11.4	6.2
Diciembre	234	208	98	25877	12560	5	11.3	6.7
Año	234	207	94	25819	12031	5	11.2	5.9



Meteonorm V7.3.2.20780

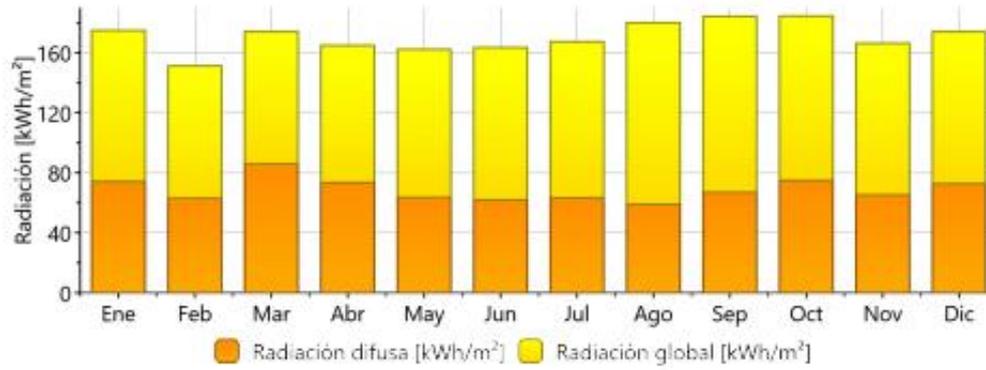
1/4

Mes	RH	p	DD	FF
	[%]	[hPa]	[deg]	[m/s]
Enero	72	679	0	2.8
Febrero	72	679	0	2.7
Marzo	75	679	0	2.4
Abril	76	679	0	2.3
Mayo	73	679	0	2.7
Junio	69	678	0	3.3
Julio	64	678	180	3.7
Agosto	61	679	180	3.8
Setiembre	63	679	0	3.4
Octubre	69	679	0	2.7
Noviembre	70	679	0	2.5
Diciembre	73	679	0	2.5
Año	70	679	0	2.9

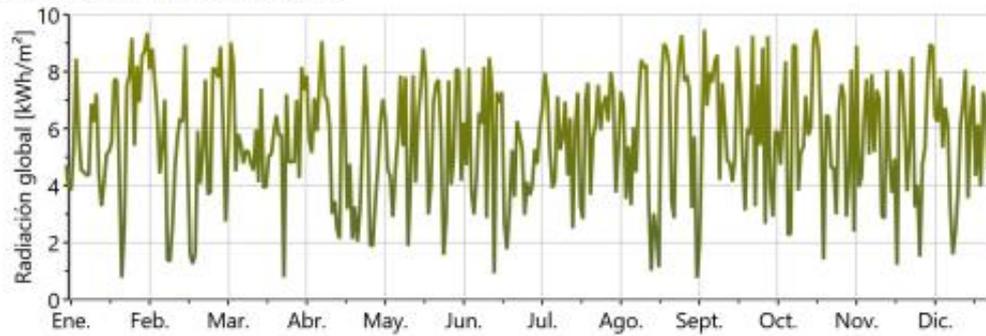
Gh: Irradiancia media de la radiacion global horizontal
 Bn: Irradiancia de la radiacion directa normal
 Dh: Irradiancia media de la radiacion difusa horizontal
 N: Grado de nubosidad
 Lg: Luminancia global
 Ta: Temperatura del aire
 RH: Humedad relativa
 Td: Temperatura del punto de rocío
 DD: Direccion del viento
 FF: Velocidad del viento
 p: Presion atmosferica



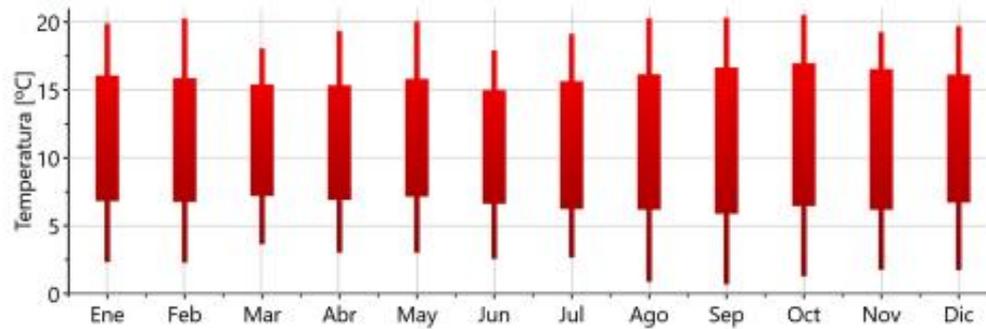
Radiación mensual



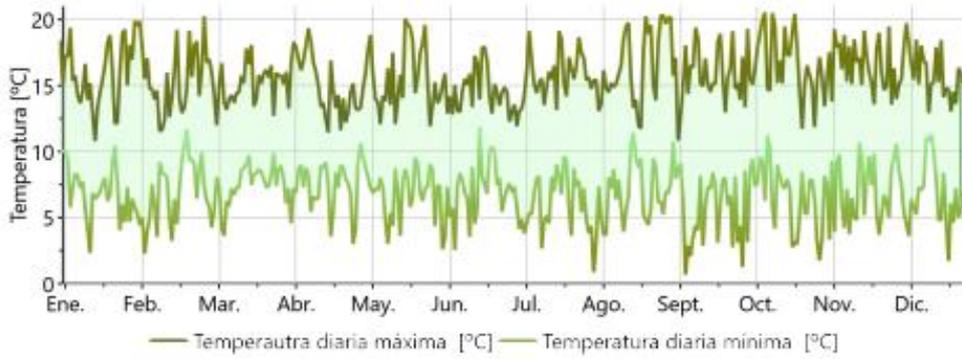
Radiación global diaria



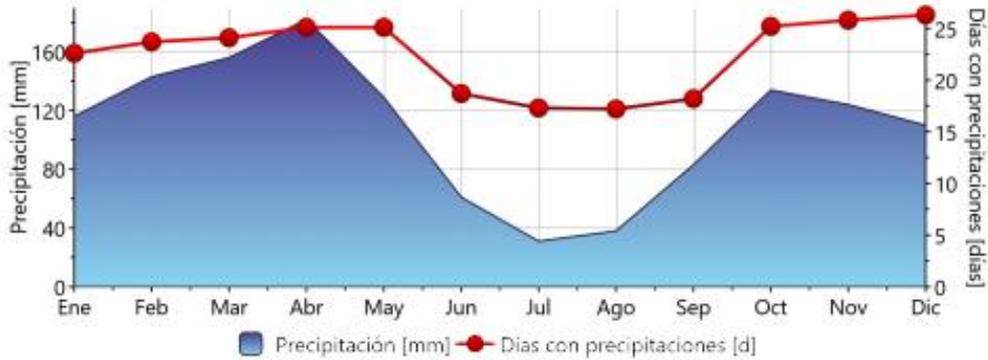
Temperatura mensual



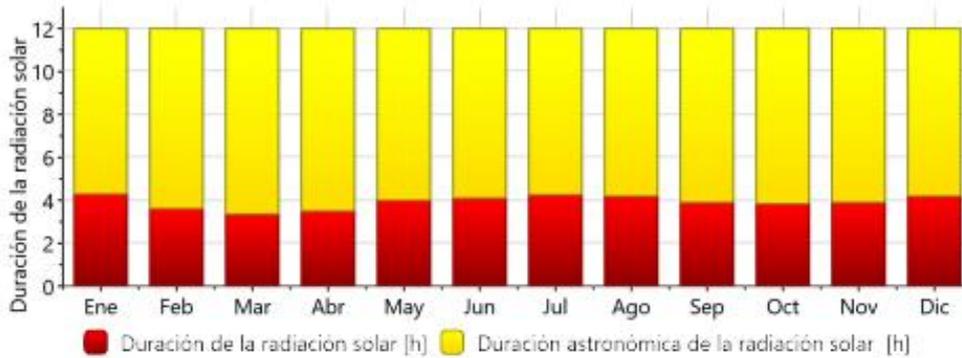
Temperatura diaria



Precipitación



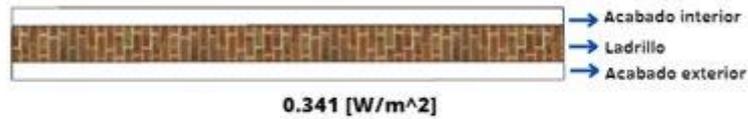
Duración de la insolación



APÉNDICE H

Materiales de Construcción Convencional

Pared



Techo

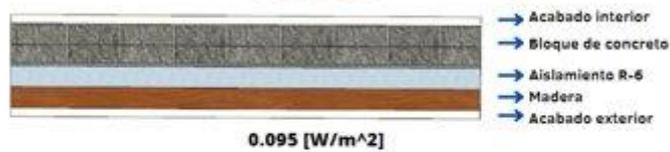


Ventana



Materiales de Construcción Propuestos

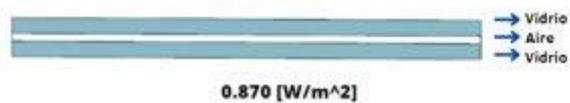
Pared



Techo



Ventana



APÉNDICE I

Submittal Data Information Model 00R-IFC[®] Radiant Heating Circulator

Submittal Data # 101-096
Supersedes: 07/01/09

Effective: 03/25/13

Features

- Specifically designed for radiant heating applications
- Integral Flow Check (IFC[®])
 - Simplifies piping
 - Prevents gravity flow / reverse flow
 - Eliminates separate in-line flow check
 - Reduces installed cost
 - Improves performance
 - Easy to service
- LED indicator light (Cast Iron Model Only)
- Unique replaceable cartridge-field serviceable
- Unmatched reliability-maintenance free
- Quiet, efficient operation
- Self lubricating, no mechanical seal
- Cast iron or Stainless Steel construction, flanged connections

Materials of Construction

Casing (Volute): Cast Iron or Stainless Steel
 Integral Flow Check (IFC[®]):
 Body, Plunger.....Acetal
 O-ring Seals.....EPDM
 Spring.....Stainless Steel
 Stator Housing:.....Steel
 Cartridge:.....Stainless Steel
 Impeller:.....Non-Metallic
 Shaft:.....Ceramic
 Bearings:.....Carbon
 O-Ring & Gaskets:.....EPDM

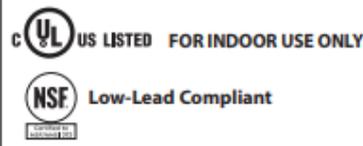
Model Nomenclature

F – Cast Iron, Flanged
 SF – Stainless Steel, Flanged
 IFC – Integral Flow Check

Performance Data

Flow Range: 0 - 12.5 GPM
 Head Range: 0 - 15 Feet
 Min. Fluid Temperature: 40°F (4°C)
 Max. Fluid Temperature: 230°F (110°C)
 Max. Working Pressure: 125 psi
 Connection Sizes:
 3/4", 1", 1-1/4", 1-1/2" Flanged

Certifications & Listings

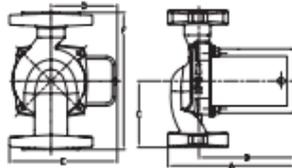


Application

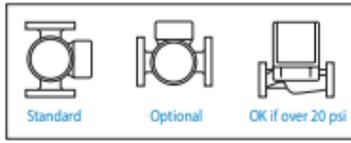
The 00R-IFC Radiant Heating Circulator with Integral Flow Check specifically fits the higher head and lower flow designs used in many Radiant Heating systems. The circulator's performance curve delivers flow that can be used in a wide combination of tube diameters and length of runs. The removable, spring loaded Integral Flow Check (IFC) prevents gravity flow/reverse flow. By locating the IFC inside the pump casing, a separate in-line flow check is eliminated, simplifying piping and reducing installation costs. It also makes for a modern, clean looking job when mounting the pump in vertical runs of pipe, pumping away from the boiler. Both the IFC and cartridge are easily accessed for service instead of replacing the entire unit. Available in Cast Iron and Stainless Steel construction.

Pump Dimensions & Weights

Models	Casing	Flange Type ^a	A		B		C		D		E		F		Ship Wt.	
			in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	lbs.	kg
00R-F6-I IFC	Cast Iron	R	5-15/16	151	4-1/2	114	3-3/16	81	2-15/16	75	5	127	6-3/8	162	9.0	4.0
00R-SF6-I IFC	St. Steel	R	5-15/16	151	4-1/2	114	3-3/16	81	2-15/16	75	5	127	6-3/8	162	8.0	3.6
00R-SF6 IFC	St. Steel	S	6	152	4	102	3-3/16	81	2-15/16	75	5	127	6-3/8	162	8.0	3.6



Mounting Positions

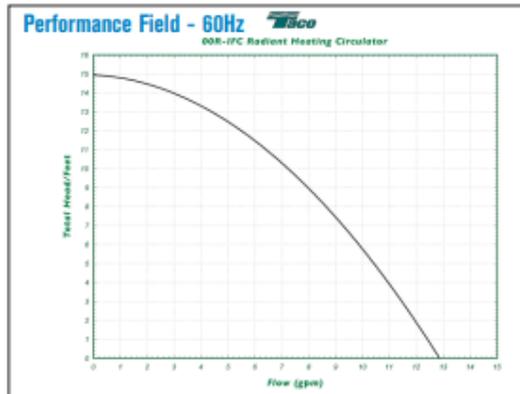
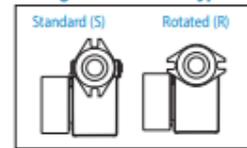


Electrical Data

Model	Volts	Hz	Ph	Amps	RPM	HP
Cast Iron	115	60	1	.71	3250	1/25
Stainless Steel	115	60	1	.75	3250	1/25

Motor Type: Permanent Split Capacitor
Impedance Protected

*Flange Orientation Type



Taco Inc., 1160 Cranston Street, Cranston, RI 02920 / (401) 942-8000 / Fax (401) 942-2360
 Taco (Canada) Ltd., 8450 Lawson Road, Unit #3, Milton, Ontario L9T 0J8 / (905) 564-9422 / Fax (905) 564-9436
www.taco-hvac.com

APÉNDICE J

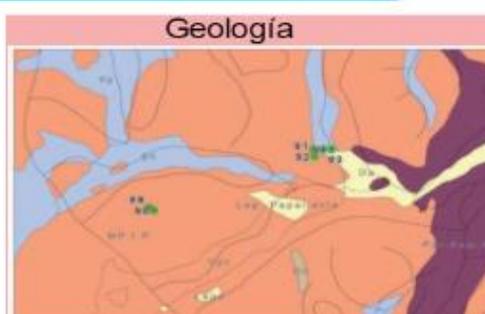
Información de fuente termomineral de Jamanco



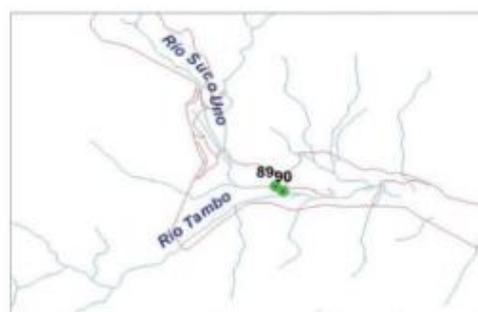
INVENTARIO FUENTES TERMOMINERALES DEL ECUADOR INFOMACION BÁSICA

Cuenca:	Napó	H. Topgraf.	Papallacta	Localidad:	Jamanco
Provincia	Napó	ESTE (UTM)	813654	Propietario:	Particular
Nº :	90	NORTE (UTM)	9958472	Fecha:	27/11/2012
Tipo:	Vert.Hipertermal	Elevación	3478	Uso:	Recreacional
		Proyección:	WGS84		

UBICACIÓN



Psp : Volcánicos Pisayambo: Lavas indiferenciada, piroclastos



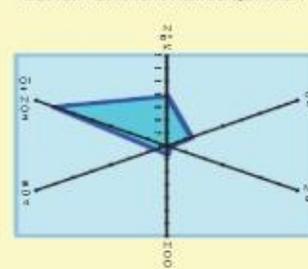
ACCESIBILIDAD: Carretera: Quito - Papallacta

RESULTADOS DE LABORATORIO

BALANCE IÓNICO

ANION	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES	
CO3H-	415,00	Na+	1102,93	Parámetros	
CO3=	0,0	K+	56,53		pH
SO4=	286,1	Ca++	256,30	CE (µs/cm)	7470
Cl-	2158,91	Mg++	14,6	DUREZA (mg/l)	699
NO3-	0,20	NH4+	0,000	TEMPERAT (°C)	74,00
NO2	0,050	Fe=	1,401		
PO4=	0,5				

CLASIFICACION HIDROQUIMICA



OTRAS DETERMINACIONES

Turbidez	0	Cobre	0,004
Color	0	Cromo	0
Alcalinidad	415	Plomo	0
STD	4833,08	SiO2	0
CO2	14,01	Mn	0

OBSERVACIONES:

TIPO DE AGUA

HIPERTERMAL

CLORURADA SÓDICA

AUTOS N. 000000000

FUENTE: BATES (1986)