



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría de Energía y Ambiente

**USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA HIDROTERMAL DE BAJA ENTALPÍA COMO SUSTITUTO
DE LA LEÑA, PARA LA INDUSTRIA TEXTIL Y TURÍSTICA EN MOMOSTENANGO,
TOTONICAPÁN**

Arq. Joel Mardoqueo Ajxup Illescas

Asesorado por el Mtro. Ing. Diego Silva Linares

Guatemala, octubre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA HIDROTERMAL DE BAJA ENTALPÍA COMO SUSTITUTO
DE LA LEÑA, PARA LA INDUSTRIA TEXTIL Y TURÍSTICA EN MOMOSTENANGO
TOTONICAPÁN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ARQ. JOEL MARDOQUEO AJXUP ILLESCAS
ASESORADO POR EL MTRO. ING. DIEGO SILVA LINARES

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA HIDROTERMAL DE BAJA ENTALPÍA COMO SUSTITUTO
DE LA LEÑA, PARA LA INDUSTRIA TEXTIL Y TURÍSTICA EN MOMOSTENANGO,
TOTONICAPÁN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería de Estudios de Postgrado con fecha 28 de mayo del 2017

Arq. Joel Mardoqueo Ajxup Illescas

DTG. 538.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA HIDROTERMAL DE BAJA ENTALPÍA COMO SUSTITUTO DE LA LEÑA, PARA LA INDUSTRIA TEXTIL Y TURÍSTICA EN MOMOSTENANGO, TOTONICAPÁN**, presentado por **Arquitecto Joel Mardoqueo Ajxup Illescas**, estudiante de la **Maestría en Artes en Energía y Ambiente** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2021.

AACE/cc



Guatemala, octubre de 2021

LNG.EEP.OI.039.2021


En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA HIDROTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA
COMO SUSTITUTO DE LA LEÑA, PARA LA INDUSTRIA TEXTIL Y
TURÍSTICA EN MOMOSTENANGO, TONICAPÁN”**

presentado por **Joel Mardoqueo Ajxup Illescas** quien se identifica con carné **200320588** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todas”


Mtro. Ing. **Edgar Darío Álvarez Cotí**
Director



**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Coordinador de Área



Guatemala, 04 de Mayo de 2018

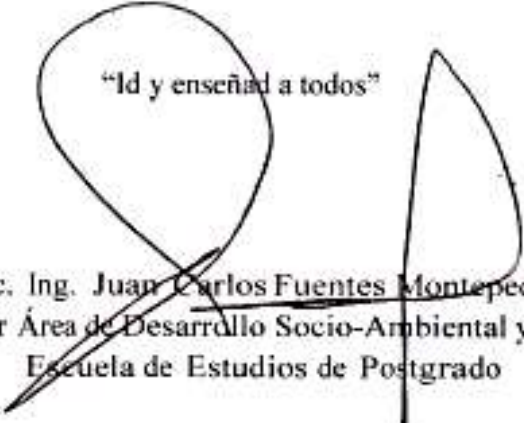
Doctora Mayra Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrados
Presente

Estimada Dra. Castillo Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación titulado: **"Uso eficiente de la energía hidrotermal de baja entalpia como sustituto de la leña, para la industria textil y turística en Momostenango Totonicapán"** Del estudiante Joel Mardoqueo Ajjup Illescas, identificado con número d carnet 200320588 , para optar al grado académico de Maestro en Energía y Ambiente modalidad Graduado de Licenciatura.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente

"Id y enseñad a todos"



Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepique
Coordinador Área de Desarrollo Socio-Ambiental y Energético
Escuela de Estudios de Postgrado

Cc: Archivo/LA

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente, Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de Información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro

Guatemala, 04 de Mayo 2018.

Doctora
Mayra Castillo
Escuela de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12

Estimada Ingeniera:

Reciba un cordial saludo deseando que sus actividades administrativas y docentes se realicen exitosamente. Por este medio me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he procedido a revisar de acuerdo al normativo de la Escuela y apruebo el Informe Final de Trabajo de Graduación, cuyo título de tesis es **"Uso eficiente de la energía hidrotermal de baja entalpia como sustituto de la leña, para la industria textil y turística en Momostenango Totonicapán"**, del estudiante profesional Joel Mardoqueo Ajup Illescas, carné Número 200320588 para optar al grado académico de Maestro en Energía y Ambiente modalidad Graduado de Licenciatura.

El mismo ya pasee las observaciones realizadas previamente, en tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia para que el estudiante Ajup Illescas, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted,

Atentamente,



Ing. Mtro. Diego Silva Linares
Asesor de Tesis

MA ING DIEGO SILVA

U. S. MAYO 2018

COLEGIADO 1595

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la energía para desarrollar los dones que me ha regalado.
- Mi madre** Marta Consuelo Illescas Gómez. Su amor me motiva siempre a honrarla en cada acción.
- Mi esposa** Evelin Donis, por consentirme en todo momento.
- Mis hijos** Fátima y Diego Ajxup Donis, porque en cada sonrisa, energizan mis días y son alegría de mi corazón.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por regalarme el conocimiento que me hace crecer intelectualmente.

Facultad de Ingeniería Por convertirse en mentora de la excelencia hacia nuevas metas, fuente de conocimiento y generadora de ideas para una Guatemala mejor.

Mis amigos Como diría Alberto Cortez: a mis amigos les adeudo la paciencia de tolerarme las espinas más agudas; los arrebatos de humor, la negligencia, las vanidades, los temores y las dudas.

Mis asesores Por compartir generosamente su conocimiento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.1. Uso ineficiente del recurso geotérmico	2
1.1.2. Contaminación por mal uso del recurso	3
1.1.3. Formulación del problema	3
1.1.4. Preguntas de investigación	4
1.1.5. Delimitación del problema	4
1.1.6. Delimitación geográfica	5
1.1.7. Delimitación tecnológica.....	6
1.2. Definición de geotermia.....	8
1.3. Usos de los recursos geotérmicos	10
1.4. El uso de la energía de baja entalpía	12
1.5. Aspectos ambientales	14
1.6. Sistema hidrotermal de roca seca caliente.....	15
1.7. Análisis de las partes interesadas	22
1.8. Estudios macro a nivel nacional.....	23
1.9. Aplicaciones industriales en Guatemala.....	24
1.9.1. Industria de la construcción.....	24

1.9.2.	Usos agroindustriales.....	24
1.9.3.	Desaladora modular geotérmica	25
1.10.	Almacenamiento latente de energía térmica.....	27
1.11.	Redes geotérmicas de distribución de calor (RGDC)	28
1.12.	Agua geotermal.....	28
1.13.	Red de distribución directa	29
1.14.	Red de distribución indirecta.....	30
1.15.	Sondeos de captación de agua	31
1.16.	Bomba de calor geotérmica por absorción	33
1.17.	Sistema de intercambio de calor.....	35
1.17.1.	Tuberías.....	38
1.17.2.	Bomba.....	39
1.17.3.	Vasos de expansión.....	39
1.17.4.	Purga de aire	40
1.17.5.	Sistema de control	40
1.18.	Procesos de tintura de lana	42
1.18.1.	Procesos previos a la tinción del tejido	43
1.18.2.	Tinción de la lana	44
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	49
2.1.	Alternativa de uso de energía térmica para el teñido de textiles.....	49
2.1.1.	Proceso artesanal de teñido de lana.....	49
2.1.2.	Proceso de mordentado.....	49
2.1.3.	Proceso de extracción de tinte	51
2.1.4.	Proceso de teñido de lana	53
2.1.5.	Propuesta de uso eficiente de la energía térmica en el teñido de lana	55

2.2.	Alternativa de uso de energía termal para el calentamiento de agua en hotel Pop Abaj.....	58
2.2.1.	Explotación del recurso	58
2.2.2.	Consumo diario de agua caliente (45 °C).....	60
2.2.3.	Estimación del consumo de agua caliente	60
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	63
3.1.	Evaluación del uso de agua termal para el calentamiento del agua del hotel Pop Abaj	63
3.1.1.	Volumen del edificio	64
3.1.2.	Cálculo de potencia térmica	64
3.1.3.	Calentamiento de agua potable.....	64
3.1.4.	Estimación de la potencia térmica para dimensionamiento de sistema	65
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	73
4.1.	Procesos de uso del afluente para tintorería.....	73
4.2.	Capacidad de afluente para energía hidrotermal	74
	CONCLUSIONES.....	77
	RECOMENDACIONES	79
	REFERENCIAS	81
	APÉNDICES.....	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación del proyecto.....	5
2.	Imagen satelital Momostenango	6
3.	Estructura de la Tierra	9
4.	Fenómenos observables como fumarolas, géiseres y fuentes termales denotan presencia de energía hidrotermal	10
5.	Diversos usos de los recursos geotérmicos.....	11
6.	Gradiente geotérmico típico en el subsuelo terrestre.....	18
7.	Diagrama clasificación de recursos y reservas minerales	19
8.	Modelo esquemático de un sistema geotérmico hidrotermal	21
9.	Distribución de depósitos acumuladores	31
10.	Esquema calefacción casa con sondeo de captación de agua en la capa freática	32
11.	Detalle de bomba sumergida para extracción de agua.....	33
12.	Funcionamiento acumulador de agua caliente	34
13.	Partes que componen la bomba de calor	35
14.	Sistema instrumentación para monitorización y control de la bomba de calor	36
15.	Componentes y conexiones de un interacumulador	37
16.	Vaso de expansión	39
17.	Purgador de aire automático.....	40
18.	Sistema de control	41
19.	Distribución anual de ocupación mensual.....	59
20.	Distribución horaria de consumos de agua caliente.....	61

21.	Distribución ocupación semanal primer semestre	63
22.	Poder calorífico biomasa vs hidrotermia.....	70
23.	Temperaturas de salida de fuentes de calor tradicional vs geotermia....	71

TABLAS

I.	Usos de la geotermia.....	13
II.	Clasificación de la energía geotérmica.....	19
III.	Potencial geotérmico Momostenango	23
IV.	Comparación cargas internas.....	27
V.	Composición de agua termal	29
VI.	Colores producidos por medios naturales	48
VII.	Proceso de mordentado	51
VIII.	Obtención de tinte natural por maceración.....	52
IX.	Proceso de teñido.....	54
X.	Ahorro de consumo de leña por batch de 19 litros con energía hidrotermal según proceso de teñido	56
XI.	Proceso eficiente de obtención de energía para tinción	57
XII.	Zonificación por superficie y volumen de áreas de edificio.....	64
XIII.	Condiciones interiores del edificio	65
XIV.	Potencia de calefacción estimada considerando el volumen y la temperatura interior de proyecto de cada área.....	65
XV.	Criterio del consumo diario de agua caliente a 60 °C.....	66
XVI.	Demandas de agua caliente en plena ocupación	66
XVII.	Consumo de agua de lunes a miércoles	67
XVIII.	Consumo de agua jueves a viernes	68
XIX.	Consumo agua fines de semana.....	68
XX.	Potencias diarias de agua caliente	69

XXI.	Comparación del poder calorífico de la leña versus el poder calorífico de la energía hidrotermal	69
XXII.	Demanda de energía según consumo	71

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
W/(m·K)	Conductividad térmica
H	Entalpía
°C	Grado Celsius
kcal/kg	Kilocalorías por kilogramo
kg	Kilogramo
kJ/kg	Kilo-joule por kilogramo
kWh	Kilo watt hora
m	Metro
m³	Metro cúbico
m³/s	Metro cúbico por segundo
mW	Mega watt
MWt	Megavatio térmico
mg/L	Miligramo por litro
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
W	Watt

GLOSARIO

Bomba de calor geotérmica	Dispositivo o máquina que absorbe calor del terreno a través de un conjunto enterrado de tuberías (sistema de intercambio), aprovechando la ventaja de la temperatura constante del interior de la Tierra. En modo calefacción, el calor es extraído del terreno y bombeado hacia las superficies radiantes del edificio; en modo refrigeración, el calor es extraído del edificio y disipado contra el terreno.
Campo geotérmico	Es un área de actividad geotermal en la superficie de la tierra.
Carga	Representa la cantidad de leña que un animal de carga puede transportar. La carga en algunos lugares equivale a 40 pares de leños partidos a la mitad, de 50 cm de largo y diámetro variable.
Coefficiente de rendimiento (COP)	Relación entre la energía útil (calor suministrado por la bomba de calor) y la energía consumida (energía necesaria para hacer funcionar el compresor). $COP = \text{calor útil cedido} / \text{Trabajo eléctrico aportado}$.

Conductividad térmica	Propiedad de los materiales mide la capacidad de capacidad de conducción de calor. También es la capacidad de una sustancia de transferir energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes con las que está en contacto. En el sistema internacional de unidades se mide en $W/(m \cdot K)$.
Construcción social	Incorpora eficiencia económica responsablemente y contribuye en mayor medida la calidad arquitectónica, la innovación técnica y la posibilidad de transferir los resultados en entornos de trabajo e infraestructura sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras.
Consumo energético	Es el gasto energético que realmente tiene el edificio.
Corriente hidráulica	En ingeniería de procesos de tratamiento de aguas se refiere al flujo de agua que ingresa a un sistema para ser tratada. Flujo de agua o río que contiene características por ser tratadas, mitigadas y/o mejoradas en un proceso unitario ingenieril.
Demanda energética	Es la energía que se requiere para que en el interior de un edificio, un usuario pueda disfrutar determinadas condiciones de confort.

Eficiencia energética	Reducción de consumo de energía al aplicar medidas, reformas y hábitos encaminados a reducir la demanda de energía que presenta una vivienda, edificio o recinto.
Energía geotérmica	Es la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie del terreno.
Energía renovable	Fuente cuya potencia es inagotable por provenir de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua como consecuencia de la radiación solar, del calor interno de la Tierra o de la atracción gravitatoria del Sol y de la Luna. Son la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, mareomotriz y biomasa.
Entalpía	Cantidad de energía térmica que un flujo o un objeto puede intercambiar con su entorno a una presión constante. Se simboliza con la letra H.
Geotermia	Disciplina que estudia el calor terrestre, su origen, distribución y aprovechamiento. Abarca procesos y técnicas utilizadas para la exploración, evaluación y explotación de la energía geotérmica.
Recurso geotermico	Energía usada de forma técnica y económicamente viable cuyo uso será en un futuro aceptablemente cercano.
Tarea	Es una unidad de medida de leña cuyas dimensiones

en metros son variables. Hay algunas dimensiones como la de 4 varas (2,8 m) de largo, por una vara de alto (0,70 m); el ancho depende de la longitud del leño.

**Yacimiento
geotérmico**

Espacio físico en el interior de la corteza terrestre en el que se sitúa un recurso geotérmico. Cuando en un área geográfica concreta se dan determinadas condiciones geológicas y geotérmicas favorables para que se puedan explotar de forma económica los recursos geotérmicos del subsuelo.

RESUMEN

El presente documento tiene por objetivo proponer un sistema de uso eficiente de la energía hidrotermal usando la baja entalpía como sustituto de la leña, para la industria textil y turística en Momostenango, Totonicapán. El proyecto está ubicado en una de las mayores zonas geotérmicas del país, donde existen manifestaciones superficiales geotermales.

Se analiza y evalúa la capacidad máxima que tiene la fuente termal para el uso de energía de las siguientes actividades: primero, se estudia la cantidad necesaria para calentamiento alternativo de agua para el proceso de teñido en la industria textil artesanal. Segundo, se evalúa el uso de aguas termales para calentamiento del sistema de agua potable de uso sanitario como alternativa para uso en hotelería. Por último, se compara la eficiencia del uso de energía hidrotermal de baja entalpía en la industria textil y turística con fuentes tradicionales de energía.

Para calentamiento alternativo de agua que será empleada en el proceso de teñido en la industria textil artesanal se calcula el aprovechamiento de la baja entalpía. Se propone la utilización de un proceso por lotes tipo batch de mayor eficiencia para el sistema de tintorería de textiles, donde se extrae el calor necesario por medio de un módulo de cocción tipo macerado adaptado. De allí se obtiene la energía hidrotermal necesaria para el mordentado de los tintes a los textiles.

Para el calentamiento alternativo de agua potable para uso sanitario en hotelería, se calcula el aprovechamiento de la baja entalpía y se propone la

utilización de un proceso eficiente de obtención de calor por medio de un sistema de bomba de calor, que actuará como intermediario entre el sistema de intercambio de calor y el de distribución para el hotel Pop-Abaj. Se aporta el complemento de energía necesaria para los servicios de agua caliente de uso en el hotel. Para este análisis se evaluaron los consumos del hotel y se midió la energía que demanda el edificio. Se propuso el sistema más eficiente de obtención de energía.

Los resultados muestran que los consumos típicos medios de lunes a viernes oscilan entre los 3 645 al 20 % de ocupación y los 7 290 litros al 40 % de ocupación.

OBJETIVOS

- General

Proponer un sistema de uso eficiente de la energía hidrotermal de baja entalpía como sustituto de la leña para la industria textil y turística en Momostenango, Totonicapán.

- Específicos

- Evaluar el uso de aguas termales para el calentamiento alternativo de procesos de teñido en la industria textil artesanal.
- Evaluar el uso de aguas termales para el calentamiento alternativo de agua para uso en hotelería.
- Determinar si el uso de la energía hidrotermal puede sustituir el consumo total de leña para calentamiento de agua.
- Analizar la cantidad de ahorro que genera el uso eficiente de las aguas termales para los procesos de teñido artesanal y calentamiento de agua en hotelería.

INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene por objeto calcular la capacidad máxima de la fuente termal para satisfacer la demanda de energía para calentar agua que será usada en el teñido de lanas e hilos de algodón de tipo artesanal.

En el capítulo 2 se desarrolló el tema de una alternativa de uso de energía térmica para el teñido de textiles. Es un recurso renovable que debe ser usado eficientemente en Guatemala para reducir la producción de gases de efecto invernadero.

Se desarrolló en el capítulo 3 una propuesta de uso de la energía térmica para el calentamiento de agua potable para las instalaciones del hotel Pop Abaj, donde se determinó la energía necesaria para el aprovechamiento del recurso por medio de un sistema eficiente con bomba de calor que alimentará el sistema.

Con dicha bomba se instala un sistema de intercambio de calor o colector y sistema de distribución interno y se aporta el complemento de energía necesario para acondicionar térmicamente el agua usada para el hotel.

El estudio abarca el análisis y evaluación técnica de las instalaciones geotérmicas de baja entalpía. Se llega a la conclusión de que, técnicamente, el sistema geotérmico es factible y permite reducir costos, según comparativa en consumo de biomasa y electricidad.

En la fase de discusión de resultados se comparó la capacidad de afluente de energía hidrotermal, que aplica en un proceso eficiente para teñido de tejidos

con resultados positivos respecto a los sistemas tradicionales de teñido con ollas metálicas, al sumergir las telas en agua proveniente de las termas.

Se determinó que el proceso nuevo evitará el desperdicio de energía para uso del sistema y logrará así atender una mayor demanda. Se capacitará a los usuarios con un manual para obtener el mayor beneficio del nuevo sistema.

Para la propuesta de uso de bomba de calor para aprovechar el recurso, se llevó el registro de la temperatura por medio de calorímetro para determinar la capacidad de entalpía del sistema. Se encontró que se logra un ahorro de hasta 60 % de energía.

Los datos se tomaron durante 3 meses para determinar la variación del sistema de agua. Se observó que la temperatura varía según la época del año debido a la saturación de agua del suelo, pero con la menor capacidad del afluyente la demanda requerida es menor que la capacidad total disponible.

Se concluye que el afluyente es capaz de brindar un ahorro de 90 % de gasto en factura eléctrica comparado con la cantidad que se genera con el uso del sistema eficiente que consiste en depósitos de agua. Se evita pérdidas de calor, todo traducido en cantidad de leña ahorrada para la comunidad tintórea de Momostenango.

Además, la disponibilidad de energía geotérmica genera las calorías necesarias para satisfacer la demanda de 17 habitaciones del hotel Pop Abaj y las instalaciones de zona de spa. Un sistema de eficiencia energética para la fuente térmica de Payexú en Momostenango, por medio de bomba de calor, genera un ahorro del 47 % del gasto de combustible usado en el funcionamiento de calentadores de gas convencionales. Además, se tendrá un ahorro del 100 %

de la factura eléctrica en gestión energética por medio de monitoreo de temperatura en calentadores eléctricos de agua para las habitaciones.

1. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo presenta la investigación de cómo se han utilizado algunos sistemas de uso eficiente de la energía hidrotermal de baja entalpía, en diferentes ámbitos concernientes al presente estudio y aplicados de forma análoga al proyecto propuesto, tanto en el ámbito de la industria textil y turística en Momostenango, Totonicapán.

1.1. Planteamiento del problema

En la villa de Momostenango se localiza el balneario llamado Payexu, a 1,5 kilómetros de la cabecera municipal con dirección noreste. El lugar se encuentra en un terreno con una pendiente entre el 15 % y 25 %, por donde atraviesa el río Palá.

Actualmente, las fuentes termales tienen dos usos que son:

- Balneoterapia con agua por medio de inmersión en pozas.
- Imprimación de tintes naturales en textiles típicos como ponchos e hilos para producción de telas.

Las pozas son llenadas a través de tubería de concreto por el denominado wolc'ot, llamado así en idioma quiché al afluyente de agua producido por el caudal de agua. Las fuentes termales de Payexu ascienden a la superficie debido a la acción del agua, que en contacto con rocas que están a alta temperatura, en

diferentes capas subterráneas, provoca una expulsión de la misma a la superficie.

El fenómeno de las aguas sulfurosas da origen a una fuente natural de energía térmica de baja entalpía, que actualmente está desaprovechada.

La población hace uso por lo menos una vez por semana de las instalaciones del balneario, por su cercanía al centro del municipio. Las horas con mayor frecuencia de uso del suelo son de 5:30 a.m. a 9:00 a.m. y de 5:00 p.m. a 7:00 p.m.

1.1.1. Uso ineficiente del recurso geotérmico

Se tomará en cuenta las características del sistema geotérmico, entre las cuales están:

- La naturaleza del fluido en la parte principal del yacimiento: agua caliente, vapor y salmuera.
- La descarga superficial de calor o la cantidad de calor transportado a la superficie por medio de las manifestaciones hidrotermales y por conducción.
- La entalpía o contenido energético (calorías por gramo) del fluido descargado por el sistema.

El mal uso del recurso, debido a la inexistencia de un sistema de retención térmica, da origen a pérdidas de energía. Además, disminuye la capacidad con

la que cuenta para calentar el agua potable destinada a hotel Pop-Abaj, que cuenta con las áreas de spa, piscina climatizada y baños de habitaciones.

1.1.2. Contaminación por mal uso del recurso

Es posible una contaminación térmica de las aguas próximas, tanto por temperatura como por partículas y sedimentación, presentes en las aguas, lo cual denota una pérdida calorífica que disminuye el potencial que puede ser explotado.

Al no tener un sistema cerrado de circulación de la fuente termal se genera una contaminación química, que puede afectar directamente el ecosistema. Se toma en cuenta el adecuado tratamiento de grandes volúmenes de agua con contenido sulfúrico y los valores elevados de temperatura que afectan el entorno. Se busca hacer eficiente el sistema de recirculación térmico de las aguas, para aprovechar el calor.

1.1.3. Formulación del problema

Para el proyecto planteado se toma en cuenta un afluyente geotérmico de baja temperatura para iniciar el proceso de investigación de explotación del recurso, con el fin de satisfacer la demanda energética para mantener el control térmico en el interior del proyecto.

Para la medición de la energía geotérmica que poseen las fuentes se necesita estudios e investigación para identificar la cantidad de calor que genera el yacimiento, lo cual demanda un gran presupuesto para su exploración y muchos años para la determinación final. En el presente estudio se determinará las medidas que harán más eficiente el actual yacimiento geotérmico.

La necesidad de satisfacer la demanda del recurso hidrotermal plantea la importancia de un sistema térmico que funcione de forma eficiente para extraer la energía proveniente de las fuentes de Payexu para los usos en termalismo, donde debe calentar el agua a 29 °C y para teñido de telas, con un requerimiento de 92 °C.

1.1.4. Preguntas de investigación

La pregunta central es: ¿Qué sistema hará eficiente el uso de la de la energía hidrotermal de baja entalpía como sustituto de la leña, para la industria textil y turística en Momostenango, Totonicapán?

Las preguntas auxiliares son: ¿Cuáles serán los equipos y el proceso de uso de agua para calentamiento alternativo del sistema de teñido de textiles artesanales? ¿Cuál sería el equipo alternativo para sistema de agua caliente para el hotel Pop Abaj? ¿Cuánto será el ahorro de energía respecto a fuentes tradicionales como leña y electricidad, al maximizar los sistemas de distribución de la fuente hidrotermal?

1.1.5. Delimitación del problema

Atendiendo a estos problemas, se desea crear un espacio donde se promueva la riqueza cultural, donde se dé a conocer cómo usaban los baños termales nuestros ancestros, para conocer el folklore del pueblo y usar al turismo como promotor de los valores.

1.1.6. Delimitación geográfica

El proyecto se encuentra ubicado en la ladera de la aldea Payexu del municipio de Momostenango. El desarrollo del estudio se ubica dentro del perímetro de la cabecera municipal. Cuenta con un área actual dispuesta por la Municipalidad de 4 276,50 m².

Figura 1. Ubicación del proyecto



Fuente: Instituto Geográfico Nacional de Guatemala (2002) *Hoja cartográfica de Momostenango*. Guatemala, Guatemala: Ministerio de agricultura, ganadería y alimentación.

Figura 2. **Imagen satelital Momostenango**



Fuente: Google Earth. *Mapa de Momostenango*. Consultado el 20 de noviembre de 2017.

Recuperado de www.googleearth.com

1.1.7. Delimitación tecnológica

La contabilización del flujo de energía entre las diferentes etapas y actividades de la cadena energética y sus relaciones de equilibrio, por las cuales la energía se produce, se intercambia con el exterior, se transforma y se consume; se toma como sistema de análisis del lugar para un período determinado.

Se propone que el estudio resuelva los requerimientos de eficiencia energética para responder a la demanda de los usuarios, con base en una conceptualización del proyecto desde el punto de vista de tecnología, para determinar los sistemas que se implementarán para lograr evitar la pérdida de calor.

Estas prácticas necesitan nuevos focos de desarrollo de servicios de salud preventiva. El uso del recurso se logra por medio de mecanismos artificiales o yacimientos naturales que brotan a la superficie en agua y vapor, generado por el calor proveniente del interior de la tierra.

De 90 países en los que se ha identificado recursos geotérmicos con posibilidades de explotación comercial, 72 los emplean en usos directos; de estos, 33 los utilizan de manera significativa con una capacidad instalada individual de 100 o más MWt. En mayo de 2005, el uso total de recursos geotérmicos de baja entalpía en el mundo (72 países) fue de 28 268 MWt (Lund et al, 2005), comparados con los 16 209 MWt en 1999 (Lund y Freeston, 2000). El 32 % de estos recursos se empleó en bombas de calor geotérmicas, 30 % para baños y natación, 20 % para calentamiento.

Para la presente investigación se analizan algunos casos de proyectos que han desarrollado el tema termal.

1.2. Definición de geotermia

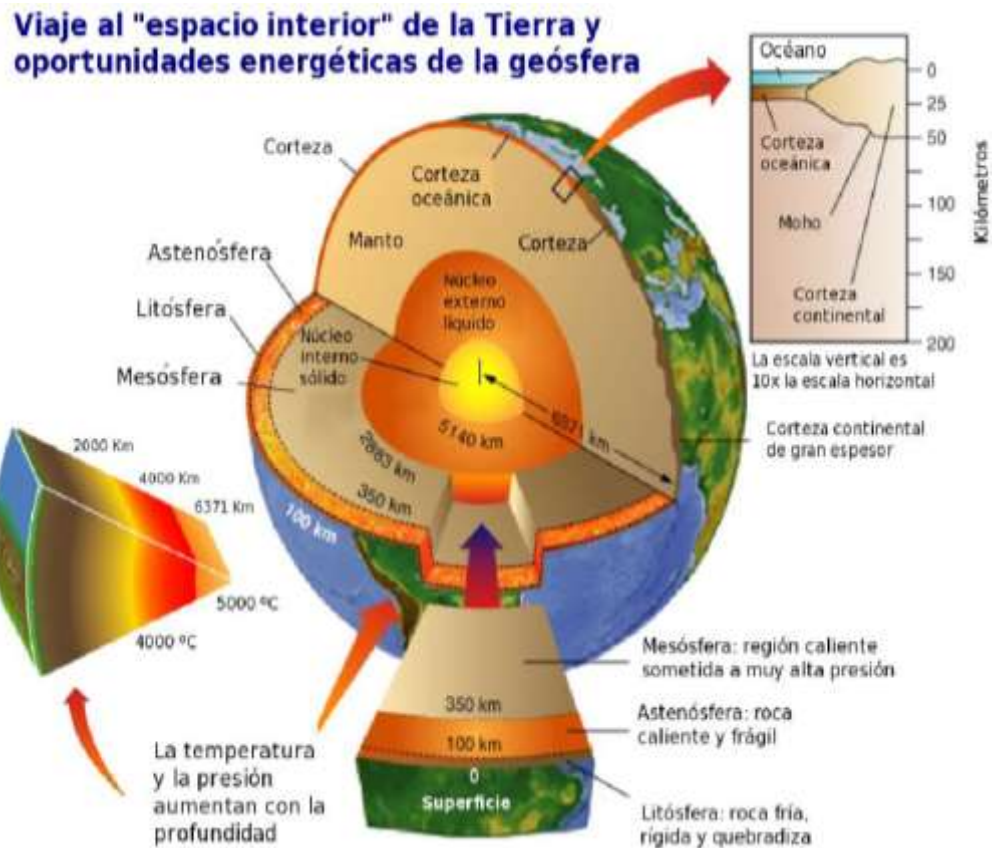
Geotermia es una parte de la geofísica que estudia las condiciones térmicas de la tierra. Se emplea el término para el estudio de los fenómenos térmicos internos de la tierra como a los diferentes procesos industriales que buscan la explotación del calor para producción de energía eléctrica o calor (Llopis y Angulo, 2008).

La mayor parte del calor de la tierra se genera por el magma y no llega a la superficie, sino que tiende acumularse a profundidades entre 5 y 10 km, en donde calienta grandes volúmenes de roca y reservorios de fluidos confinados. Estos dan origen a la formación de los sistemas geotérmicos (Dickson y Fanelli, 1995).

El contenido total de calor almacenado en la Tierra se estima aproximadamente en el orden $12,6 \times 10^{12}$ Exajulios, mientras que el calor disponible de la corteza terrestre está en $5,4 \times 10^9$ Exajulios. El decaimiento natural de los isótopos radioactivos genera el calor interno de la Tierra, a una tasa energética de 860 Exajulios/año, que significa el doble de energía necesaria para consumo hacia el 2004.

La energía geotérmica es una de las más prometedoras y suscita un interés creciente en el conjunto de las estrategias que promueven la explotación de fuentes de energías renovables. La geotermia no tiene su origen en la radiación solar sino en la diferencia de altas temperaturas que existen en el interior de la Tierra y que van desde los $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ de la superficie a los $4\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ que rigen el núcleo (Santoyo Gutiérrez y Torres Alvarado, 2010). Estructura de la Tierra

Figura 3. Estructura de la Tierra



Fuente: Geography. *Estructura de la Tierra*. Consultado el 24 de febrero de 2021.
Recuperado de <https://geography.name/minerals-and-rocks-of-the-earths-crust/>

La conductividad térmica de la roca de los sistemas geotérmicos es muy baja, de tal forma que se requiere mucho tiempo para agotar este recurso energético; se estima probablemente en el orden de billones de años. Con base en estas características, la geotermia es considerada como una fuente inmensa de energía y casi inagotable si se explota sustentablemente (Santoyo Gutiérrez y Torres Alvarado, 2010).

Fenómenos observables como fumarolas, géiseres y fuentes termales denotan presencia de energía hidrotermal

Figura 4. **Fenómenos observables como fumarolas, géiseres y fuentes termales denotan presencia de energía hidrotermal**



Fuente: Juárez, E. (2010) *Evaluación de la regulación de los recursos geotérmicos en México*. México D.F., México: UNAM p.4.

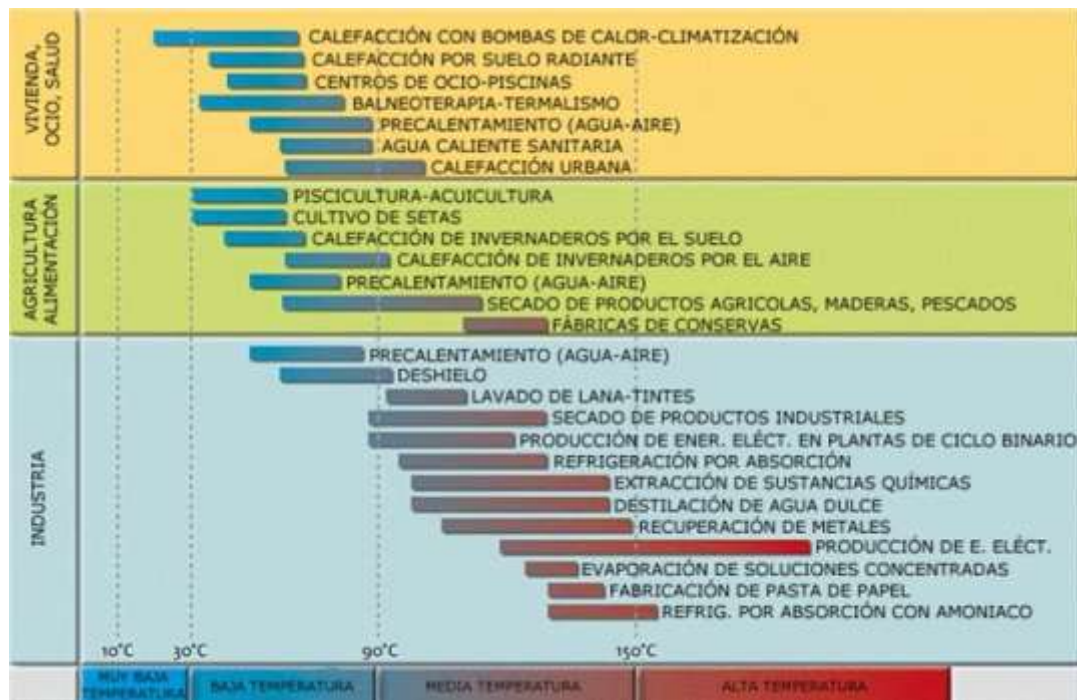
1.3. Usos de los recursos geotérmicos

La energía geotérmica puede tener numerosas aplicaciones en diversas áreas, tales como calefacción urbana, calentamiento de agua, acuicultura, horticultura y procesos industriales. Además, el uso de energía extraída de las temperaturas constantes de la tierra a poca profundidad por medio de bombas de calor geotérmicas (International Energy Agency Scenarios y Strategies to 2050, IEA, 2010)

La energía geotérmica de media y alta entalpía existente en el mundo, se utiliza casi exclusivamente para producir electricidad, mientras que la baja

entalpía la han desarrollado inversionistas privados para instalaciones aisladas (International Geothermal Association, 2013).

Figura 5. **Diversos usos de los recursos geotérmicos**



Fuente: Suckhow. *Illustration Geothermal Education*. Consultado el 24 de febrero de 2021. Recuperado de: https://www.academia.edu/16761783/Energi%C3%A1_geot%C3%A9rmica.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) de México ha desarrollado algunos mecanismos de uso del recurso geotérmico en áreas de ese país. Un ejemplo es el uso de forma directa, como el caso de secadores de madera, deshidratadores de frutas y hortalizas, invernaderos y sistemas para calefacción de oficinas. La figura 5 muestra diversas aplicaciones que se le pueden dar a los recursos geotérmicos.

1.4. El uso de la energía de baja entalpía

La energía geotérmica superficial (hasta 400 metros) se basa en el calor irradiado por el sol y el flujo de calor desde el interior de la Tierra a la superficie. Es aplicada en calefacción o refrigeración de edificios y para calentar el agua. A profundidades de alrededor de 20 metros y dependiendo de las condiciones geológicas hasta un máximo de 40 metros, las temperaturas en los estratos superiores de la Tierra están sujetas a las fluctuaciones estacionales. A profundidades cercanas a los 20 m, un equilibrio prevalece entre el exterior y la temperatura interior de la Tierra. En este nivel, las fluctuaciones climáticas no son perceptibles y la temperatura es de aproximadamente la temperatura media anual en el lugar (Deutsche Energie Agentur, DENA, 2013).

Las aplicaciones de baja entalpía involucran recursos disponibles a pocas profundidades. Las inversiones requeridas y el riesgo inicial son menores que en aplicaciones de alta entalpía, lo que representa una gran oportunidad al presentarse la posibilidad de contar con sistemas de generación distribuida que permitan el desarrollo regional y la generación de empleos a nivel local, así como el fortalecimiento de nuevas cadenas productivas.

La baja temperatura permite el aprovechamiento directo del calor, dado que el transporte del calor requiere infraestructuras de elevado costo y con pérdidas energéticas importantes. Se requiere que la demanda se sitúe próxima al centro geotérmico, donde se ubican las cabezas de los sondeos y se localiza el intercambiador. De esta forma, el circuito geotérmico que actúa como la caldera del sistema de calefacción que se va a utilizar, está compuesto únicamente por los dos sondeos que conforma el doblete geotérmico (sondeo de extracción y de inyección) y el intercambiador.

El sistema de superficie es prácticamente un sistema convencional de distribución de calefacción (García de la Noceda, 2010).

Tabla I. Usos de la geotermia

Uso	Capacidad instalada		
Calefacción individual	0,460	MWt	4,397 TJ/año
Calentamiento efecto invernadero.	0,004	MWt	0,059 TJ/año
Secado agrícola	0,007	MWt	0,101 TJ/año
Bañarse y nadar	155,347	MWt	4 018,23 TJ/año
TOTAL	155,818	MWt	4 022,79 TJ/año

Fuente: International Geothermal Association. *Geothermal energy*. Consultado el 24 de febrero de 2021. Recuperado de: <https://www.geothermal-energy.org/>

Además de los usos en calefacción de viviendas y locales, existe multitud de aplicaciones de tipo industrial en las que se necesita aporte de calor, la mayor parte relacionadas con las industrias del sector agrícola y alimentario. Los recursos geotérmicos de baja temperatura se investigan con objeto de aprovechamiento en usos directos.

En términos de manejo de aguas es importante que la demanda donde se localicen las fuentes no afecten las grandes cuencas sedimentarias sino que precisen acuíferos con buenas características de porosidad y permeabilidad, lo que permite una importante productividad (Santoyo Gutiérrez y Torres Alvarado, 2010).

Otra oportunidad que se presenta con la geotermia de baja entalpía es la posibilidad de contar con sistemas de generación distribuida que permitan el desarrollo regional y la generación de empleos a nivel local.

Las aplicaciones de baja entalpía involucran recursos disponibles a pocas profundidades, por lo que las inversiones requeridas y el riesgo inicial es menor que en aplicaciones de alta entalpía con temperatura menor a 100 °C. Se puede encontrar en los estratos superiores de la Tierra de hasta 400 metros (Vielma, 2013).

1.5. Aspectos ambientales

En el caso de la energía geotérmica, los impactos medioambientales son destacadamente menores que los existentes en las centrales térmicas de combustibles fósiles y nucleares, incluso menores en comparación con otras fuentes de energías renovable. Los residuos y emisión de gases que produce son muy bajos, además de ocupar un espacio reducido de terreno donde es posible integrarlas fácilmente al paisaje. Los impactos a los ecosistemas por su uso son mínimos y de fácil manejo y tienen un carácter autóctono (Llopis y Angulo, 2008).

A continuación se explican algunos de los problemas más comunes que se pueden encontrar (Llopis y Angulo, 2008):

Habitualmente, el fluido geotérmico lleva gases disueltos como el dióxido de carbono CO₂ y sulfuro de hidrógeno H₂S (g); este, a su vez, con el contacto con el agua se convierte en H₂S (ac). Deben eliminarse porque alteran el normal funcionamiento de los equipos que componen la instalación, como condensadores e intercambiadores de calor. Algunos gases son tóxicos, como el sulfuro de hidrógeno, por lo que no pueden liberarse directamente a la atmósfera.

Es fundamental conocer la composición salina del recurso antes de diseñar la instalación geotérmica:

- El fluido en el almacén geotérmico puede estar saturado de sales. Al enfriarse, estas sales se precipitan y se pueden producir incrustaciones, lo que provoca problemas como estrangulación progresiva del pozo de extracción y muy mal funcionamiento de bombas, válvulas etc.
- Si el fluido tiene una alta concentración de sales y/o sustancias tóxicas, se deberá evitar cualquier tipo de vertido a las aguas superficiales.
- Hay yacimientos geotérmicos capaces de proporcionar energía durante muchas décadas, pero otros pueden llegar a agotarse y enfriarse, causado en muchos casos por la inyección del agua fría en el acuífero. Los pozos de reinyección deben situarse a una distancia prudencial de los de producción.

Otro punto importante es que la explotación de la energía geotérmica permitiría capturar el 14 % del potencial de abatimiento de emisiones de CO₂ en el sector eléctrico para el año 2020 (Llopis y Angulo, 2008)

1.6. Sistema hidrotermal de roca seca caliente

Los recursos geotérmicos pueden ser clasificados a través de sus características geológicas y la factibilidad económica de ser explotado. Esta clasificación es representada a través del diagrama de McKelvey (ver figura 12), el cual caracteriza los recursos geotérmicos según la factibilidad económica y tecnológica de ser explotado a lo largo del eje vertical.

Según el grado de certeza geológica a lo largo del eje horizontal, hace referencia a la probabilidad de encontrar el recurso geotérmico en un área determinada (McKelvey, 1972).

Se ha comparado a la Tierra como una máquina térmica donde la temperatura aumenta gradualmente con la profundidad a un ritmo conocido como gradiente geotérmico. Las temperaturas del manto y el núcleo se basan en diversas suposiciones y pueden variar considerablemente de un lugar a otro; desde 500 °C en la corteza, las temperaturas aumentan deprisa, a una media de 20 °C a 30 °C por kilómetro. A una profundidad de 100 kilómetros, se calcula que la temperatura supera los 1 200 °C, mientras que en el límite núcleo-manto se calcula que es de 3 500 - 4 500 °C y puede superar los 6 700 °C en el centro de la Tierra.

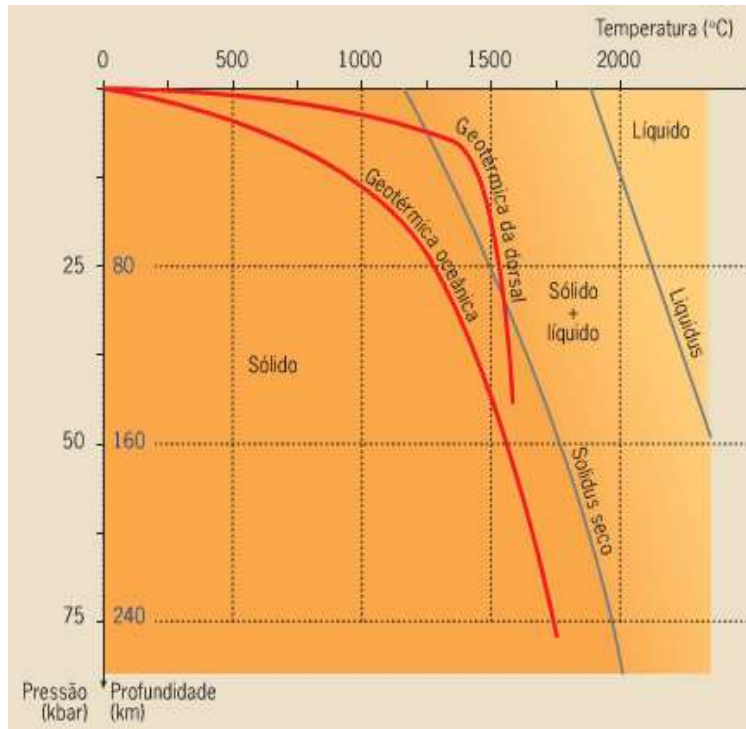
Según este modelo, en el interior de la Tierra podemos encontrar 5 estados distintos del material, que determinan 5 zonas diferentes:

- Astenosfera: es donde los materiales se encuentran en estado plástico y elástico a la vez. En ella se produce una actividad convectiva que origina el movimiento de las placas.
- Litosfera: sus materiales están en estado más sólido que la astenosfera. Tiene un grosor medio de 100 km, aunque es más fina en las zonas oceánicas que en las continentales.
- Mesosfera (geosfera mixta): en ella existe una viscosidad intermedia entre la litosfera y la endosfera. Incluye al manto inferior y a parte del superior; es, por tanto, la capa más voluminosa de la Tierra.
- Nivel D: es la zona de transición entre el núcleo externo y el manto, por lo que almacena mucho calor. Es una zona muy dinámica, a la que se incorporan restos de litosfera.

- Endosfera: es la zona más interna, constituida por el núcleo. Aunque el núcleo interno está a temperaturas de 4 500 °C, se mantiene en estado sólido debido a la presión. El calor del núcleo interno se transmite al externo por conducción y genera corrientes de convección, que se acumulan en el nivel D y se transmiten por el manto.

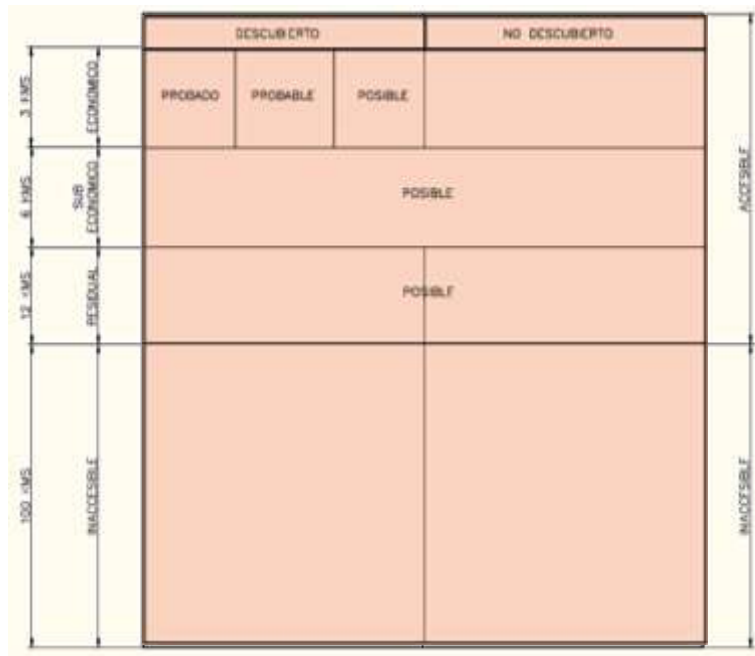
Los recursos geotérmicos, el agua caliente y/o roca caliente, de los cuales es posible extraer energía, se forman por la acumulación del calor en zonas llamadas sistemas geotérmicos a pocos kilómetros de profundidad en la corteza. Se pueden clasificar de varias formas, dependiendo de su tipo o temperatura (Aviña, Historia de la geotermia, 2012).

Figura 6. **Gradiente geotérmico típico en el subsuelo terrestre**



Fuente: Intergovernmental panel on climate change. *Gradiente geotérmico*. Consultado el 6 de septiembre de 2019. Recuperado de: <https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/proc-renewables-lubeck.pdf>

Figura 7. Diagrama clasificación de recursos y reservas minerales



Fuente: Instituto de las Montañas Rocosas. *Diagrama McKelvey*. Consultado el 19 de septiembre de 2020. Recuperado de: <https://www.cursosgeomin.com.ve/algo-de-historia-las-reservas-y-los-recursos-de-mckelvey/>

Tabla II. Clasificación de la energía geotérmica

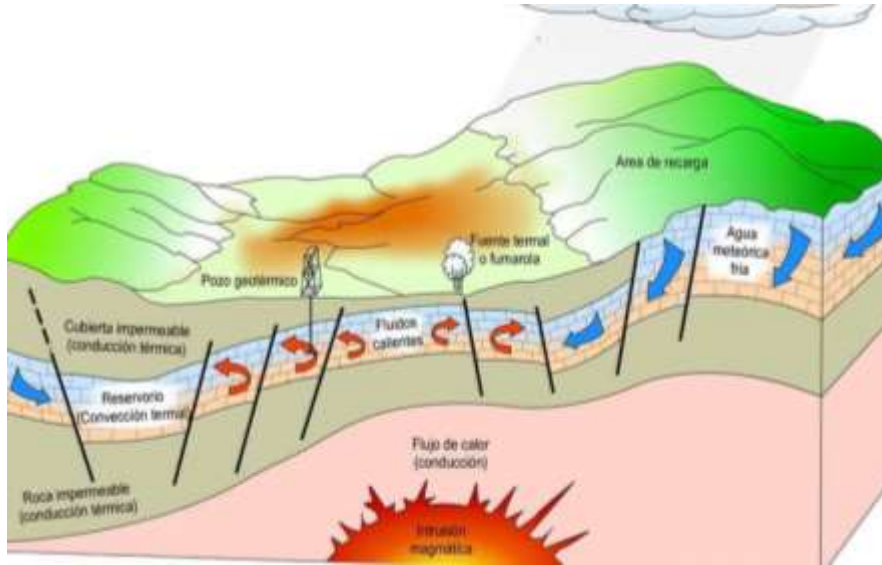
Tipo de energía	Geotermia de baja entalpía	Geotermia de media entalpía	Geotermia de alta entalpía.
Temperatura	$T < 100 \text{ }^\circ\text{C}$.	$100 \text{ }^\circ\text{C} < T < 150 \text{ }^\circ\text{C}$	$T > 150 \text{ }^\circ\text{C}$.
Características	Su aplicación son los usos directos del calor (calefacción, procesos industriales, balnearios.	Usos industriales y producción de electricidad mediante ciclos binarios, que en general tienen rendimientos bajos.	Las características termodinámicas del fluido permiten su aprovechamiento para producción de electricidad.

Fuente: Ordaz, Flores y Ramírez (2007). *Clasificación energía geotérmica*. México D.F., México: Banco Interamericano de Desarrollo.

En zonas privilegiadas, el gradiente geotérmico, que es el aumento de la temperatura a zonas más bajas de la corteza terrestre, suele llegar a ser varias veces mayor que el gradiente normal (cuyo promedio es de 30 °C/km, o 1 °C cada 30 metros de profundidad). Por ello, en estas zonas es posible encontrar fluidos con temperaturas entre 200 °C y 350 °C, a profundidades promedio de aproximadamente 3 km. No obstante, existen actualmente algunos sitios, como en el campo geotérmico de Kakkonda en Japón, en donde se han registrado temperaturas hasta de 500 °C. Los sistemas geotérmicos que presentan fluidos con temperaturas superiores a los 200 °C normalmente justifican la perforación de pozos, los cuales son más apropiados para la generación geo termoeléctrica (Santoyo Gutiérrez y Torres Alvarado, 2010).

Se conocen nueve sistemas geotérmicos llamados de reservorio geotérmico o yacimientos geotérmicos, que son sistemas de agua muy caliente. Si las condiciones geológicas de la zona lo permiten se forma una intrusión de magma en la corteza terrestre, que calienta las rocas aledañas; cuando el agua subterránea pasa por estas rocas calientes se forma un acuífero de agua caliente o vapor a alta presión. Este reservorio se puede aprovechar perforando hasta llegar a él. Se atraviesa la capa sello de rocas impermeables hasta llegar a las rocas permeables que forman el yacimiento; el agua entonces, dependiendo de la temperatura y profundidad, saldrá a la superficie en forma de vapor, mezcla o agua caliente.

Figura 8. **Modelo esquemático de un sistema geotérmico hidrotermal**



Fuente: Dickson y Fanelli. (1990) *¿Qué es la energía geotérmica?* Pisa Italia: Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Recuperado de http://www.lis.edu.es/uploads/812fe7d1_d505_4825_9db3_8438d78a406c.PDF

Presente a grandes profundidades, son rocas que conservan un alto grado energético en forma de calor. Son utilizadas como cambiadores de calor. Para utilizar el calor de forma más eficiente se utiliza la técnica de hidrofracturación que produce un reservorio rocoso fracturado al que se le inyecta agua fría a alta presión que se pone en contacto con las rocas, cuya temperatura aproximada es de 200 °C, bajo el efecto de la presión. Una vez inyectada el agua, esta gana calor rápidamente y después puede ser utilizada en procesos industriales en generación de electricidad. A estos sistemas también se les conoce como sistemas geotérmicos estimulados porque pueden ser creados o mejorados por el ser humano (Llopis y Angulo, 2008).

1.7. Análisis de las partes interesadas

La población actual, de ascendencia maya-quiché, posee una cosmovisión de conservación de la naturaleza que hace necesario que el proyecto tenga la menor huella ecológica. La investigación analiza los factores que desarrollen las capacidades para manejo del recurso, implementará usos alternos para la energía, brindará a los pobladores unas instalaciones cómodas y ofrecerá una mayor sostenibilidad para maximizar el recurso disponible y resolver las necesidades energéticas semi-rurales que reduzcan el impacto del consumo de leña.

La investigación centrará esfuerzos en aplicar los conceptos de sistemas de aprovechamiento geotérmico para beneficio del municipio de Momostenango, área donde se ubica una de las mayores zonas geotérmicas del país con manifestaciones superficiales de temperaturas máximas del orden de los 265 °C según estudios preliminares de geofísica, gravimetría, magnetometría y geoquímica.

El balneario beneficiará a una población que asciende a más de 10 000 habitantes y es visitado por familias que hacen uso semanal de los baños. Debido a su cercanía se proponen sistemas de tipo mixto, para hacerlos eficientes y generar utilidades a la comunidad. Al hacer más eficaces los sistemas energéticos se puede duplicar la oferta del lugar, por lo que aumentará la promoción turística del área y contará con una mayor demanda económica por satisfacer con las propuestas por implementar.

Tabla III. **Potencial geotérmico Momostenango**

	Estimación de potencial	Reserva
Pozos		50 MW
Temperatura promedio		265 °C
Profundidad asumida		1 500 - 3 000 m.
Propietario		INDE

Fuente: Dirección General de Energía (2015). Departamento de energías renovables, Guatemala. Guatemala.

1.8. Estudios macro a nivel nacional

Desde los años de 1970, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) trabajó con el INDE (Instituto Nacional de Electrificación) para determinar los recursos geotérmicos en Guatemala. En 1982, el INDE, con la cooperación de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) definió trece áreas con potencial geotérmico, de las cuales cinco fueron declaradas áreas de reserva nacional. Estas fueron: Zunil, Amatitlán, San Marcos, Moyuta y Tecuamburro, localizados en los departamentos de Quetzaltenango, Guatemala, San Marcos, Jutiapa y Santa Rosa, respectivamente.

El área de Moyuta fue la primera en ser estudiada por presentar fuertes manifestaciones superficiales; en 1975 se perforaron dos pozos exploratorios, los cuales presentaron muy bajas temperaturas, por lo que las exploraciones se centraron en las áreas de Zunil y, más tarde, Amatitlán. Luego de los estudios de reconocimiento en estas áreas se perforaron pozos de exploración de pequeño diámetro; debido a estos resultados, Zunil y Amatitlán recibieron la mayor prioridad.

1.9. Aplicaciones industriales en Guatemala

En el país, el desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de energía geotérmica como fuente de generación ha sido lentamente viable, pero con resultado muy positivos.

1.9.1. Industria de la construcción

Hay casos como la empresa Monolit, ubicada en Amatitlán, donde usan el calor geotérmico para el curado de sus productos de concreto; donde llenan estanterías de 6 a 11 niveles de bandejas cargadas de block fresco y son desplazadas a las cámaras de curado, donde permanecerán de 12 a 24 horas. Las cámaras para el curado, conocidas en inglés como kiln u hornos, generalmente operan a presión atmosférica.

El curado se realiza a temperatura entre 55 °C y 75 °C. El vapor tiene como propósito mantener 100 % de humedad. En climas cálidos, el calor generado por el proceso químico de fraguado del cemento es suficiente para elevar la temperatura a los niveles deseados sin utilizar vapor. Todo el proceso de curado toma normalmente 24 horas, lo que nos indica que los factores ambientales inciden directamente en la conservación de la energía y su uso eficiente.

1.9.2. Usos agroindustriales

Empresas agroindustriales que se dedican a la deshidratación de frutas han utilizado el recurso energético, también para el secado, como la empresa Lemonex, S. A., donde han utilizado la fuente para la deshidratación de alimentos con el fin de remover la humedad entre 15 % o 20 %. El proceso se hace con un secador de tipo continuo, donde el producto es secado constantemente al entrar

a una razón de kg/h o kg/día para obtener una producción adecuada con un costo energético considerable.

Los alimentos se ordenan en bandejas y se introducen en una cámara de secado; el aire caliente es ingresado y pasa a través de los alimentos deshidratados, que expulsan naturalmente la humedad. El aire es calentado en serpentines de vapor, geotérmicos. Se optimizaron para secar cualquier producto pero son de producción baja. Se requiere cambiar las bandejas en cada ciclo.

1.9.3. Desaladora modular geotérmica

Tiene como propósito separar la sal del agua de mar o agua salobre, mediante la utilización de energía proveniente de un yacimiento geotérmico de baja entalpía (fluido a 90 °C). El proceso consta de tres efectos de evaporación a presiones por debajo de la atmósfera, consecutivas y decrecientes, cuyo objetivo es obtener agua destilada. Su variante respecto a un sistema de desalinización térmica multi-efecto (MED, por sus siglas en inglés), es la conducción del fluido de aporte energético a través de todas las cámaras para lograr un mejor aprovechamiento de energía térmica primaria.

Esta tecnología ha sido aplicada para desalar agua de mar en las costas de Baja California, debido a la disponibilidad de efluentes geotérmicos de baja entalpía, para abatir el problema de suministro de agua. El funcionamiento consiste en tomar agua de mar e introducirla en un condensador de contacto indirecto, donde se busca precalentar el agua de mar por una parte y, por otra, condensar el vapor resultante del último efecto de la unidad desaladora. Al otro extremo del proceso se inyecta fluido geotérmico de baja entalpía, a una temperatura de 90 °C en la primera cámara, para que este fluido transfiera parte

de su energía al fluido que circula por la parte interna de la cámara. El fluido geotérmico abandona este circuito a una temperatura razonablemente alta.

Paralelamente, la alimentación hacia las cámaras se hace con el agua de mar precalentada en el condensador. Se especifica que en este primer efecto la presión está por debajo de la atmosférica y el agua de mar adquiere calor del fluido geotérmico de aporte, hasta llegar a su temperatura de evaporación. Parte del agua de mar se evapora y es inducida al efecto siguiente. La salmuera resultante que cuenta con una cantidad de energía térmica, también es inducida al segundo efecto.

Dentro de la segunda cámara se introducen, por un lado, la salmuera del efecto anterior y el agua de mar precalentada. Por el otro lado se introduce el vapor generado a la primera cámara y el fluido geotérmico. Tanto el calor latente como el sensible de ambas sustancias, respectivamente, provocan un incremento en la energía térmica del agua de mar del segundo efecto y de la salmuera.

El propósito es lograr la evaporación de cierta cantidad de agua de mar y de la salmuera por el incremento en energía térmica y efecto flash debido a la caída súbita de presión, respectivamente.

La extracción de condensados se realiza entre una cámara y otra. Este proceso se puede repetir varias veces, con el propósito de aumentar la cantidad de condensado obtenido (Salmerón, 2012). Se ha deducido que tres efectos son la cantidad ideal en la cual se mantienen al margen los gastos energéticos y económicos durante el proceso (Martínez Juárez, 2016).

1.10. Almacenamiento latente de energía térmica

El uso permanente de instalaciones hoteleras tipo spa requiere una eficiencia elevada donde se hace necesario el aislamiento térmico de las superficies, y que el material interior no se pierda respecto al exterior para lograr una inercia térmica en el interior para que el aporte de calor sea constante.

Se considera cierta carga para calentar el edificio con una envolvente aislada. Proyectos de este tipo usan estándares de eficiencia tipo casa pasiva, para instalaciones; usan la temperatura de 20 °C para confort del edificio y logran aislamiento para incrementar la temperatura interna.

La demanda de temperatura es muy grande, sobre todo de agua caliente, donde existen pérdidas por radiación, por transmisión, por convección, por renovación y por evaporación. Esta es donde existe mayor pérdida, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla IV. Comparación cargas internas

Comparación carga interna reservorio	Carga evaporación (W/m ²)	Demanda de calefacción (kw/m ²)	Carga de calefacción (w/m ²)	Sobrecalentamiento (%)	Carga de refrigeración (W/m ²)
20 °C	55.95	40	64	93	50
26 °C	65.38	27	64	100	59
27 °C	84.37	13	64	100	78

Fuente: VOGT. *Guía del estándar passivehaus*. Consultado el 19 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://passivehouse-international.org/upload/Guia-del-Estandar-Passivhaus-fenercom-2011.pdf>

Al analizar las pérdidas se identifica que con métodos electromecánicos de recirculación de calor y deshumidificadores se recupera la energía utilizada y se

logra alcanzar altas cantidades de retorno. El restante de carga energética debe ser reconsiderado para dimensionar el sistema y evitar calentamiento que dañe el circuito. Se analizaron los sistemas del edificio para determinar la pérdida de calor y su recuperación, independientemente del aislamiento. Se eliminan puentes térmicos y presencia de condensación no deseada, para alcanzar el estándar de casa pasiva, se midió la presión sobre el edificio a 50 pascales y la renovación del aire que posee el sistema de ventilación adecuada (Vogt, 2012).

1.11. Redes geotérmicas de distribución de calor (RGDC)

Existen dos variables de redes: las de distribución directa e indirecta. Estas, a su vez, pueden ser de sistema de control realimentado o cerrado; donde el fluido geotérmico se reinyecta a la Tierra después de extraer el calor, o de sistema de control abierto, donde el fluido no es reinyectado, y es generalmente descargado al sistema de drenajes o a algún afluente de agua.

Esto tiene un menor costo, ya que se usan menos tuberías y equipo de bombeo; en general se elige el de control cerrado, ya que mantiene la presión hidráulica interna del circuito y evita pérdidas caloríficas y cualquier posible contaminación debido a la acción de los minerales y elementos corrosivos del recurso geotermal.

1.12. Agua geotermal

Para el diseño del sistema cerrado se requiere especificar los materiales con una gran resistencia a las condiciones químicas y caloríficas del agua termo mineral. Se mide la precipitación que tendrán los reservorios de agua, ya que ocurre mucha transferencia de calor por las conductividades térmicas de las superficies.

El recurso de agua es termo mineral que se clasifica inicialmente según su pH (% de iones de hidrógeno), corrosividad (% de ion de cloro), dureza mg/L de CaCO₃, concentración de CO₂ mg/l y sólidos disueltos mg/l en general. En la tabla VI se observa que se encontró agua con la siguiente composición:

Tabla V. **Composición de agua termal**

pH	8,38 - 16,7	Dimensional
Concentración de cloro.	82	mg/L
sólidos disueltos	458	mg/L
Dureza total	14	[mg/L] CaCo ₃

Fuente: Elaboración propia.

1.13. Red de distribución directa

Una red de distribución directa distribuye el calor directamente a los usuarios desde el afluyente geotérmico. Necesita un tratamiento por la composición química, ya que a partir de 500 [mg/L] no es de consumo humano y requiere un menor caudal geotérmico para la misma cantidad de usuarios. Este sistema presenta las siguientes desventajas:

- Desgaste de equipos por componentes químicos del agua y por depósitos de partículas.
- Variabilidad de los coeficientes térmicos de los equipos debido a los depósitos minerales.
- Pérdida de control por baja presión debido a la corrosividad del agua.
- Alto costo por equipamiento anticorrosivo.
- Costos de mantenimiento.

- Riesgo de intoxicación.

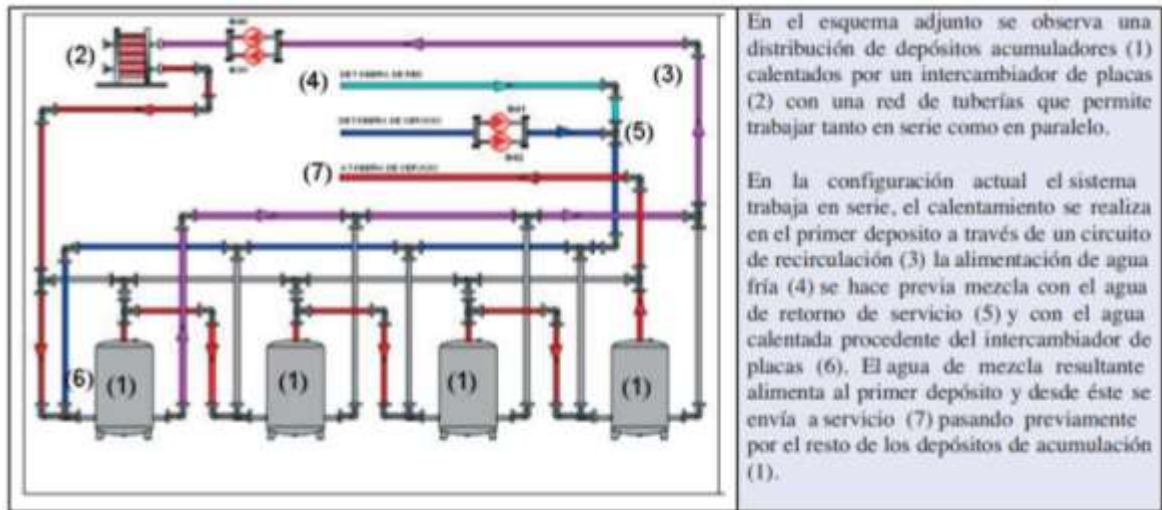
1.14. Red de distribución indirecta

Usa un sistema indirecto, compuesto por tres anillos; en el primero, el agua recorre el área de extracción de calor del pozo; en el segundo anillo se lleva el agua al área de los usuarios y en el tercero ingresa el recurso a las diferentes áreas. Su objetivo es combinar los flujos másicos del circuito primario, secundario y terciario para maximizar las eficiencias de transferencia de calor en los intercambiadores y reducir los costos de bombeo.

Los componentes que forman parte del sistema son:

- Acometida de agua fría con accesorios, grifos y duchas.
- Generador de calor: en el caso de una fuente geotérmica se realiza el afluyente directo por medio de la captación. Se elimina el gasto de instalación de calderas y se instala intercambiadores de calor para hacer eficiente el sistema.
- Red de suministro: tubería que transporta el agua.
- Acumulador: depósito que almacena el agua caliente, incrementa la inercia térmica del sistema y permite maximizar el calor.
- Circuito de retorno: red de tuberías que transportan el agua de vuelta desde los puntos más alejados de la red de suministro hasta el acumulador para mantener un nivel aceptable de temperatura.

Figura 9. **Distribución de depósitos acumuladores**



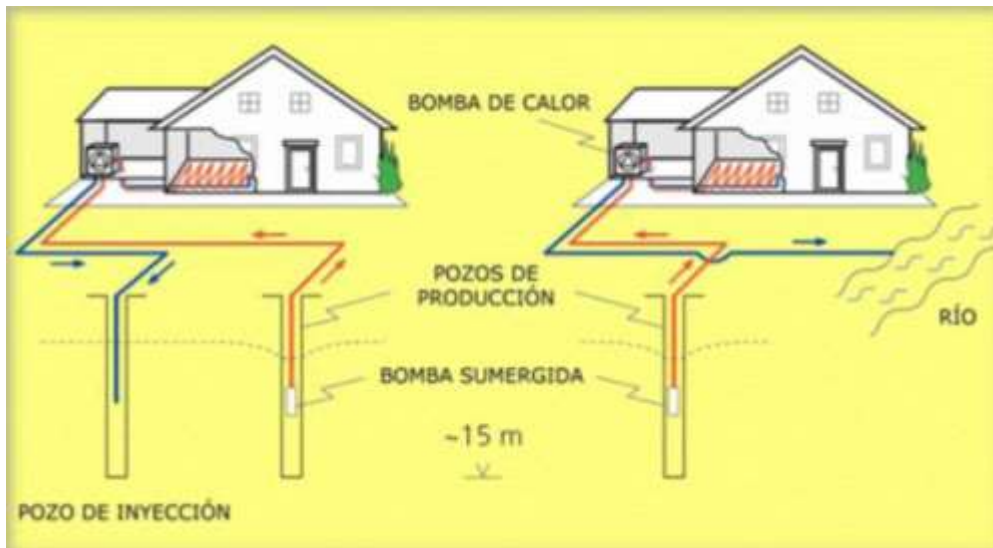
Fuente: FAGOR. *Esquema red acumuladores*. Consultado el 28 de febrero de 2018.

Recuperado de www.legionelosismadrid.es/instalaciones/sistema-acs/

1.15. **Sondeos de captación de agua**

El proyecto propone realizar dos sondeos para explotar las aguas subterráneas con un pozo de producción a través de una bomba sumergida. Esta conducirá el agua a la bomba de calor para extraer su energía y devolver posteriormente a la capa freática por un pozo de reinyección, o verterá al cauce fluvial determinado por estudio hidrogeológico. Se debe colocar el sondeo de toma en aguas arriba y la reinyección en aguas abajo para evitar el enfriamiento continuo del agua subterránea (IDAE, 2012b).

Figura 10. **Esquema calefacción casa con sondeo de captación de agua en la capa freática**



Fuente: Instituto para la diversificación y ahorro de la energía IDAE. *Manual de Geotermia*.

Consultado el 15 de mayo de 2017. Recuperado de

https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10952_manual_geotermia_a2008_e3bf1e59.pdf

Se elige este sistema debido a que las sondas tienen mejor nivel de conductividad térmica y necesitan menos longitud de captador para cubrir las mismas necesidades energéticas.

El rendimiento en el uso para calefacción es superior en las sondas que otros sistemas de captación geotérmica somera. Está indicada para edificios existentes y construcciones que no disponen de mayor superficie.

Figura 11. **Detalle de bomba sumergida para extracción de agua de pozo**



Fuente: NAUTILIUS PUMP. *Detalle de bomba sumergida*. Consultado el 12 de marzo de 2016.
 Recuperado de www.spanish.alibaba.com/p-detail/three-phase-water-pump-motor-vertical-submerged-centrifugal-non-clog-sewage-submersible-pump-60316204708.html

1.16. **Bomba de calor geotérmica por absorción**

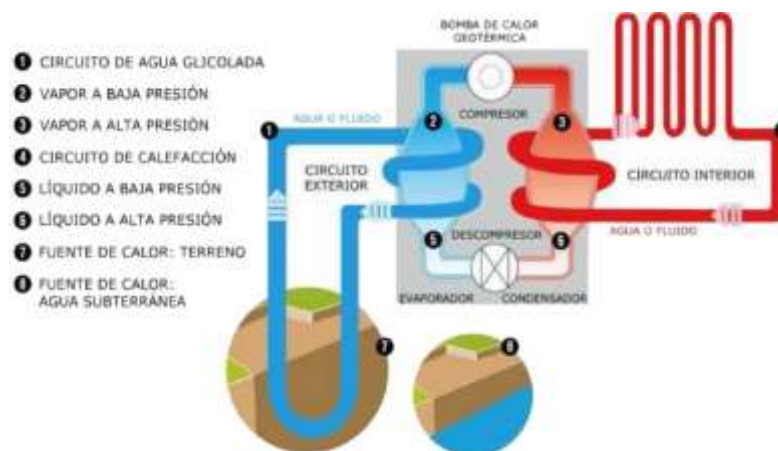
La bomba de calor geotérmica es una máquina que funciona transmitiendo el calor de una región fría a una región caliente, incrementando la temperatura mediante el funcionamiento de un compresor en un ciclo de vapor. Debido a la estabilidad de la temperatura del agua extraída, la bomba de calor puede ser de menor potencia, ya que el salto térmico es menor que cuando se utiliza la temperatura del ambiente exterior.

Existe una gran cantidad de modelos de bombas de calor y su instalación no requiere de personal altamente cualificado. Según el Departamento de

Energía de Estados Unidos (DOE), las bombas geotérmicas utilizan entre un 25 % y 50 % menos de electricidad que los sistemas convencionales para calefacción y refrigeración, lo cual reduce el consumo energético y las emisiones en un 45 % a un 70 %. Según Escuer (2005), los sistemas de bombas de calor geotérmicas, en comparación con los tradicionales, producen ahorros energéticos de 40 % a 60 % comparado con sistemas de bomba de calor agua-agua o aire-agua; un 75 % con sistemas de radiadores eléctricos, un 60 % con sistemas de gas natural y hasta un 70 % con sistemas que utilicen otros combustibles (Escuer, 2005).

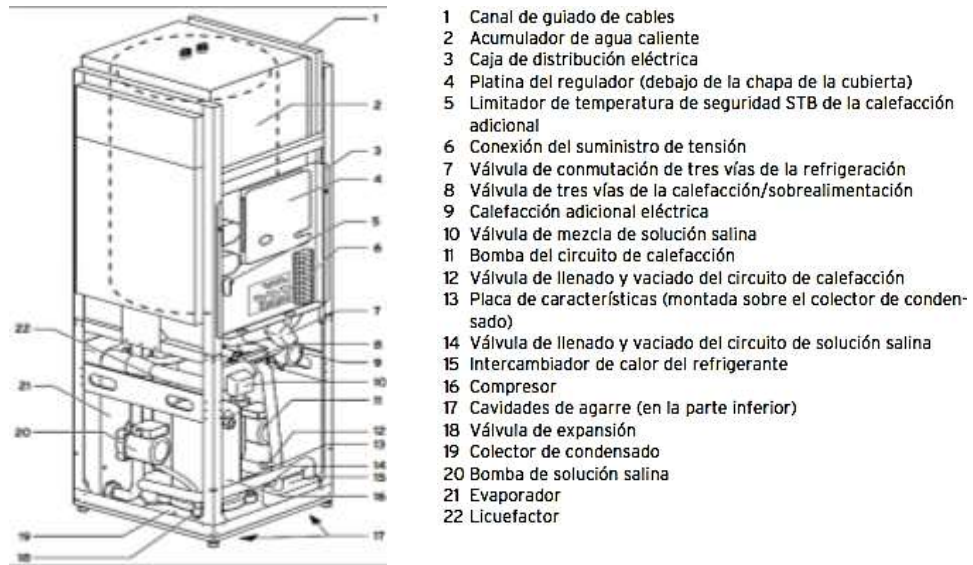
La captación del calor del subsuelo se realiza mediante sondas o tuberías con líquido anticongelante que se entierran y recogen la temperatura del sistema y la llevan a la bomba de calor geotérmica.

Figura 12. **Funcionamiento acumulador de agua caliente**



Fuente: VAILLANT. *Bomba de calor*. Consultado el 2 noviembre de 2017. Recuperado de www.vaillant.es/instaladores-distribuidores/productos/soluciones-domesticas/bombas-de-calor/

Figura 13. Partes que componen la bomba de calor



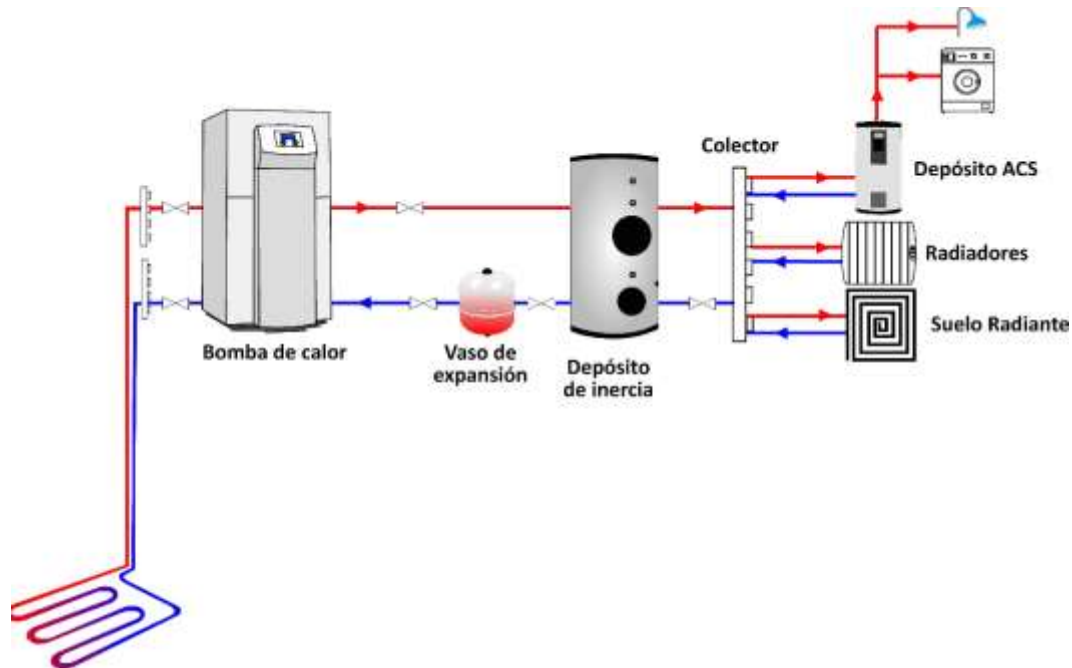
Fuente: VAILLANT. *Bomba de calor con acumulador*. Consultado el 2 de noviembre de 2017.

Recuperado de <https://www.vaillant.es/instaladores-distribuidores/productos/soluciones-domesticas/bombas-de-calor/>

1.17. Sistema de intercambio de calor

En la figura 14 se puede observar un esquema simplificado de la bomba de calor por absorción con la conexión al depósito de geotermia y al depósito de frío; con las bombas, válvulas y los diferentes puntos de medición.

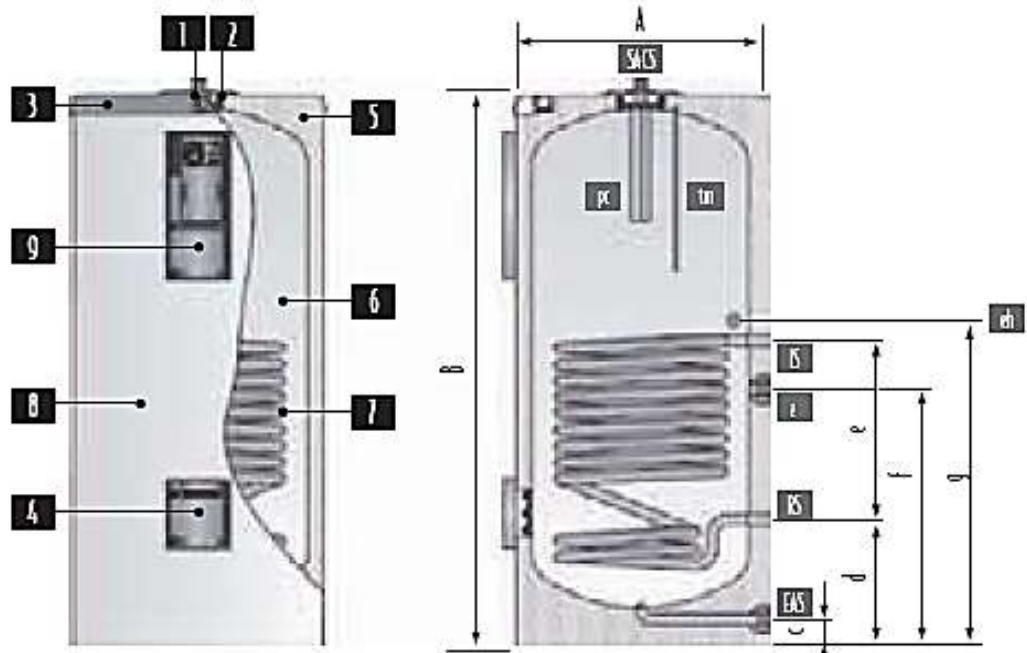
Figura 14. **Sistema instrumentación para monitorización y control de la bomba de calor**



Fuente: FAGOR. *Manual de Instalación de caldera de condensación*. Consultado el 2 de noviembre de 2017. Recuperado de <https://www.vaillant.es/instaladoresdistribuidores/productos/soluciones-domesticas/bombas-de-calor/>

Se ha instalado un intercambiador independiente, cuya potencia mínima se ha determinado para las condiciones de trabajo en las horas centrales del día. El interacumulador elegido ha sido el modelo ISF 500SI de la marca Fagor. Este modelo tiene las siguientes características:

Figura 15. Componentes y conexiones de un interacumulador



- 1** Medidor de carga del ánodo
- 2** Boca de inspección
- 3** Cubierta superior
- 4** Boca lateral auxiliar
- 5** Aislamiento térmico
- 6** Depósito acumulador
- 7** Serpentin de calentamiento
- 8** Forro externo
- 9** Panel de control

- PC** Protección catódica
- tm** Sonda de sensores
- EAS** Entrada agua sanitaria
- SACS** Salida agua caliente sanitaria
- RS** Retorno solar
- AS** Avance solar
- rh** Conexión lateral
- Z** Recirculación

Fuente: VAILLANT. *Manual instalación de Inter-acumulador*. Consultado el 2 de noviembre de 2017. Recuperado de <https://www.vaillant.es/instaladoresdistribuidores/productos/soluciones-domesticas/bombas-de-calor/>

El interacumulador posee las siguientes características:

- Capacidad de agua caliente sanitaria: 500 litros
- Temperatura máxima depósito de agua caliente sanitaria: 90 °C
- Presión máxima depósito de agua caliente sanitaria: 8 bares
- Temperatura máxima circuito de calentamiento: 200 °C
- Presión máxima circuito de calentamiento: 25 bares
- Superficie de intercambio circuito de calentamiento: 2 m²
- Volumen serpentín: 15 litros
- Peso en vacío (aprox.): 160 kg
- Conexiones de 1"
- Dimensiones de radio de vuelco mínimo: 1 850 mm
- Cota A: diámetro exterior: 770 mm
- Cota B: longitud total: 1 690 mm

1.17.1. Tuberías

La longitud de las tuberías desde los captadores hasta la sala de máquinas es de 23,21 m. El caudal de los captadores es 481,5 l/h., con una velocidad en las tuberías de 2 m/s. Las tuberías que se han utilizado para el transporte del fluido portador de calor son de conexión prefabricadas para instalaciones hidráulicas.

Las tuberías tienen un diámetro de 12 x 0,8 mm y son del modelo Escoline Split Cu. Tienen un material aislante marca Aeroflex, caucho sintético, ligero, flexible, de celdas cerradas, libre de PVC y CFC. Resisten hasta una temperatura de 125 °C (en continuo) y brevemente 175 °C (temperatura de parada de los colectores). Se trata de un tubo de cobre según DIN EN 1057 con identificación, para evitar confusión, de impulsión/retorno.

1.17.2. Bomba

La bomba elegida para la circulación del fluido portador es el modelo BC-5/15 de la marca Fagor. Este sirve para superficies de captación entre 5 y 15 m²; soporta un máximo de 50 m de tubería contando la tubería de ida más la de retorno. La tubería de ida tiene una distancia de 23,21 m y la de retorno 22,67 m, por lo que el conjunto de tuberías es inferior a los 50 m.

1.17.3. Vasos de expansión

Los vasos de expansión que se han elegido son el vaso de expansión-8L de la marca Fagor. Se han conectado en la aspiración de la bomba.

Figura 16. **Vaso de expansión**



Fuente: FAGOR. *Manual de Instalación de caldera de condensación*. Consultado el 2 de noviembre DE 2017. Recuperado de <https://www.vaillant.es/instaladoresdistribuidores/productos/soluciones-domesticas/bombas-de-calor/>

1.17.4. Purga de aire

El modelo de purgador elegido ha sido el 150 de la marca Fagor. El botellín del purgador tiene un volumen útil de 150 cm³. Se ha instalado a la salida de la batería de captadores.

Figura 17. **Purgador de aire automático**



Fuente: FAGOR. *Manual de Instalación de caldera de condensación*. Consultado el 2 de noviembre de 2017. Recuperado de <https://www.vaillant.es/instaladoresdistribuidores/productos/soluciones-domesticas/bombas-de-calor/>

1.17.5. Sistema de control

El sistema de control elegido es el modelo TR 0603 de la marca Fagor. Este asegurará un buen funcionamiento del sistema producción de agua caliente sanitaria mediante captación hidrotermal. Será capaz de controlar la temperatura del fluido portador de calor para que no supere los valores máximos ni mínimos.

Este sistema de control tiene las siguientes características:

- Display gráfico iluminado para una representación animada de los sistemas de la instalación y los estados de funcionamiento.
- Límites de temperatura del acumulador seleccionables
- Elevación de temperatura del retorno de la calefacción
- Termostato libremente programable
- Funciones de tiempo y auto programación
- Contador de calor y Función de recirculación agua caliente sanitaria

Figura 18. **Sistema de control**



Fuente: Fagor. *Manual de Instalación de caldera de condensación*. Consultado el 2 de noviembre de 2017. Recuperado de <https://www.vaillant.es/instaladoresdistribuidores/productos/soluciones-domesticas/bombas-de-calor/>

Características técnicas:

- Tensión del sistema: 230 V ($\pm 15\%$) 50 Hz [Opcional 115 V ($\pm 15\%$), 60 Hz].
- Consumo característico máximo ≤ 3 W.
- Temperatura ambiental permitida 0 °C + 45 °C
- Display de cristal líquido LCD gráfico animado con iluminación de fondo.
- Clase de protección IP 20 / DIN 40050
- 6 entradas, 3 salidas, con dimensiones 170 mm (a) x 170 mm (l) x 46 mm(h).

1.18. Procesos de tintura de lana

Prendas de vestir confeccionadas en las tierras altas de Guatemala, como por ejemplo los vistosos ponchos de Momostenango y diversos artículos de manufactura artesanal, utilizan lana que proviene del vellón esquilado de las ovejas y/o carneros, en una operación que se lleva a cabo generalmente una vez al año entre los pobladores que poseen rebaños.

Cada filamento de lana es una fibra lisa que al observarse al microscopio está constituida por una serie de casquetes cónicos muy prolongados y encajonados unos en otros, cubiertos de una materia muy aceitosa llamada 'suarda', soluble en el agua caliente, que es el resultado de diversas secreciones del animal.

Al momento de la esquila, la lana contiene aproximadamente el 68 % de materias extrañas tales como grasa, tierra y basura. Las propiedades que distinguen a cada lana son finura, longitud, elasticidad y suavidad, la que dependerá de la menor cantidad de asperezas que presenta cada fibra. La lana difiere en su calidad tanto por la raza a la que pertenece la oveja productora como a la forma de obtención de la misma. En Guatemala se practica el sistema de esquilado de ovejas que separa la lana proveniente de las diferentes partes del cuerpo de la oveja.

Los colores comunes de la lana son el blanco, gris, café y negro. Estas no pierden sus matices en el lavado, las de color blanco son las usadas para la tintorería; tradicionalmente se teje en telares de pie. Las diferentes etapas del proceso de elaboración son ejecutadas regularmente por miembros de una sola familia, aunque últimamente se han incorporado personas en calidad de operarios. La lana se obtiene en todo el altiplano de Guatemala. Hay mercados especializados en los cuales se distribuye dicha materia prima.

Con base en el porcentaje de hilo de algodón o lana utilizados en la elaboración de los artículos tejidos, se pueden clasificar en:

- Productos de pura lana elaborados en un 100 % de lana.
- Productos de media lana, elaborados con un 50 % de lana (trama) y 50 % de hilo de algodón de urdimbre.

1.18.1. Procesos previos a la tinción del tejido

La lana es comprada en bruto, contiene suciedad y sin una clasificación adecuada de calidad que satisfaga las normas internacionales. Solamente con la

designación de lana blanca, negra, gris y café en bolas de 80 o más onzas y que los artesanos conocen como “libra”.

Previo a su tinción la lana debe ser lavada en frío. Se elimina la suciedad con agentes de limpieza natural como raíz de ixmatzín y de güisquil. Posteriormente se seca al sol sobre petates, tablas o directamente sobre la grama y se procede a hacer paquetes (previa selección de colores) cuyo peso es de aproximadamente 80 onzas, Estos son sujetados o atados por tiras de hojas secas de maguey, formando cubos, los cuales se venden en los mercados. Posteriormente esta es comprada por los tejedores, quienes se encargan de estirar y escarmenar la lana para aplicar el tinte, en todo el proceso pierde cerca del 50 % de su peso inicial.

Posteriormente se realiza el cardado, con el fin de obtener hebras largas y fuertes que simplifiquen su hilar. Se usan trozos de madera que tienen dientes de hierro y un mango. La lana es halada entre los cepillos hasta quedar lisa y limpia. El hilado se hace con los dedos y con la ayuda de un hueso grande y pesado o bien con huso para hilado de textiles; posteriormente se emplea la devanadora y el telar de pie para darle la forma bicónica de madejas ahusadas. Una vez cardada, la lana está lista para tejer o teñir.

1.18.2. Tinción de la lana

Previamente se humedece para iniciar el mordentado y aplicar el tinte, de la siguiente manera:

- Pesar 100 g o 3,47 onzas de alumbre (sulfato de aluminio y potasio) más 60 g o 2,08 onzas de crémor tártaro (para 1 kilo de lana). Disolver los dos

mordientes en un recipiente pequeño de agua caliente y no exceder la cantidad para que no se vuelva viscoso.

- Verter el contenido en la olla para mordentar con agua templada a 40 °C. A esta temperatura se introducen las madejas de lana. Llevar a la temperatura máxima a 90 °C y mantenerla así por una hora y no dejar hervir.
- Dejar enfriar en la olla toda la noche o por lo menos 10 horas; entonces está lista para teñir. Si no se va a teñir, hay que secar las madejas y guardarlas en una bolsa de polietileno más una pastilla de alcanfor u hojas de eucalipto seco. La lana soporta el agua caliente a punto de ebullición pero no es estable a cambios bruscos de temperatura.

La extracción del tinte se realiza 24 horas antes del proceso de mordentado y consiste en lo siguiente:

- Picar en pedacitos y machacar bien la sustancia tintórea.
- Remojar una noche o el mayor tiempo posible en poca agua.
- Poner a hervir durante una hora. Es mejor dejar reposar toda la noche.
- Después de colar se puede hervir nuevamente el desecho para una segunda extracción del tinte.
- Tirar el desecho cuando esté frío y mezclar las dos extracciones.

La aplicación del tinte se realiza de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Calentar el tinte en la olla a una temperatura de 40 °C. A esa temperatura se introducen las madejas de lana.
- Llevar a la temperatura máxima de 90 °C y mantenerla así por una hora (no dejar hervir).
- Dejar enfriar en la olla por lo menos 10 horas.
- Sacar las madejas del tinte y lavarlas con jabón neutro o natural hasta que no sueltan tinte sin retorcer.
- Poner a secar en la sombra para aplicar el tinte.
- Poner dos cucharadas de carbonato de sodio en 5 litros de agua caliente y remover suavemente.
- En ese mismo recipiente, poner una cucharada de añil en polvo y remover hasta que no queden grumos.
- Verter ese contenido en la tina de plástico, con mucho cuidado para no hacer burbujas de aire.
- Espolvorear en la superficie de la tina dos cucharadas de hidrosulfito de sodio.
- Dejar reposar por 30 a 35 minutos, hasta que se forme una capa aceitosa amarilla verdosa y transparente.

- Meter las madejas de lana cuidando de no hacer burbujas, de manera que queden cubiertas.
- Dejar reposar 15 minutos.
- Sacar las madejas, procurando no hacer burbujas de aire sin que goteen y escurran.
- Desaguar dos veces con jabón neutro, siempre a la misma temperatura a que esté la lana.

Secar las madejas a la sombra. Para mezclar los colores se debe extraer los dos tintes completamente por separado, añadirlos juntos en el mismo baño de tinte y ponerlos a hervir con los diferentes procedimientos para algodón y lana. Todos los extractos, menos el añil, se pueden mezclar uno con otro en combinación de dos o tres para desarrollar ciertos colores no muy comunes. Al mezclar los tintes en cantidades diferentes el color cambia dramáticamente, aun con los mismos tintes.

A continuación, algunas combinaciones de tintes y los colores que producen:

Tabla VI. **Colores producidos por medios naturales**

Tinte natural	Color que produce
Cochinilla + añil	morado
Granada + barba de león o chilca + añil	verde
Nogal + añil nogal + cochinilla	negro
Nogal + cal arrayán + sacatinta.	gris
Palo de tinte + nogal granada + añil	Verde café

Fuente: Elaboración propia.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Para encontrar los valores de las variables por investigar se estableció la cantidad de personas que usan las fuentes con fines de teñido. Se preguntó a las asociaciones de artesanos para establecer la cantidad de usuarios y se propuso las siguientes alternativas:

2.1. Alternativa de uso de energía térmica para el teñido de textiles

Se describen los procesos del teñido de lana para identificar los pasos que los artesanos siguen para la producción de tejidos. Por medio de entrevistas a asociaciones de artesanos y conteo directo en el lugar, se estableció la cantidad de personas que usan las fuentes.

2.1.1. Proceso artesanal de teñido de lana

Se ha identificado que el proceso actual de teñido consiste en un tipo de procesamiento por lotes. Para el presente estudio se denominará a cada unidad de teñido como *batch*.

2.1.2. Proceso de mordentado

Previo a la tintura de las fibras de lana se inicia la aplicación de mordientes de tipo biodegradable de origen vegetal, tales como la raíz de lengua de vaca, el líquen y el limón. Son las sustancias que muerden la fibra y las preparan para recibir el tinte y quede un color más firme y duradero.

Sirve también para cambiar los tonos, según se desee. Hay de tipo mineral, como el alumbre, crémor tártaro, sal, sulfatos de hierro y cobre, entre otros de uso escaso.

Se tomaron tres muestras de mordientes en cada *batch* y se diluyó la mezcla diez minutos en el agua caliente. Se humedecieron tres muestras de vellones de lana en ollas metálicas, dejándolas sumergidas durante una noche. Al día siguiente, las ollas con agua caliente proveniente de la fuente térmica se mezclan con los tintes previamente macerados y fermentados, y la lana se escurre y se introduce en el baño de tinte.

Tabla VII. **Proceso de mordentado**



Premordentado

Se prepara el hilo en madejas y se lava con jabón natural neutro para liberar de impurezas y grasas.

Para facilitar la penetración del tinte en las fibras, se introduce 25 % de alumbre sobre la lana y 6 % de crémor tártaro, en un recipiente no reactivo como cerámica o acero inoxidable con agua tibia. Luego de disolver, se tapa el recipiente y se calienta hasta 60 °C, sin dejar que hierva, durante 1 hora.



Mordentado

En agua caliente a 40 °C, se disuelve bicarbonato de sodio al 1%, y se introducen las lanas y se lleva la temperatura hasta 90 °C durante 1 hora. Posteriormente, se deja enfriar toda la noche.



Post-mordentado de la fibra de lana

Sirve para fijar el tinte a manera de evitar sus cambios ante la luz y el lavado. Se aplica 25 % de alumbre sobre la fibra, 6 % de crémor tártaro en agua, se calienta hasta el punto de ebullición durante 10 minutos de agitación.

Fuente: elaboración propia.

2.1.3. Proceso de extracción de tinte

El macerado y fermentado del fruto permite obtener el tinte. Se realiza a una temperatura de 70 °C, con el calor del afluente.

Tabla VIII. **Obtención de tinte natural por maceración**

	<p>Fermentado Picar en pedacitos el fruto y machacar bien la sustancia tintórea. Remojar una noche o el mayor tiempo posible en poca agua para fermentar el material.</p>
	<p>Macerado Poner a hervir el fruto durante una hora y dejar reposar toda la noche. Después de colar se puede hervir nuevamente el desecho para una segunda extracción del tinte.</p>
	<p>Separación Se retira el material sólido del proceso por medio de colado para ser desechado y se separa el tinte natural y se mezclan las dos extracciones.</p>

Fuente: elaboración propia.

2.1.4. Proceso de teñido de lana

Para el teñido de lana se emplea una semana, que comprende recolectar plantas, macerar partes de la misma, fermentar durante una noche, lavar la lana, premordentar lana, cocinar tinte, color tinte, tinturar, reservar, lavar y secar. Se emplea el siguiente equipo de cocina para este proceso:

- Ollas de hierro, de cobre (reemplazan el mordiente)
- Ollas de aluminio (colores más suaves)
- Tarro de lata (oscurece los tonos)
- Balanza
- Cuchillos
- Cucharas
- Platos
- Mortero
- Colador

El tiempo total para el proceso de tinturado es una semana, distribuido de la siguiente forma:

- 24 horas para recolección de tinte natural
- 12 horas para maceración y fermentación de los taninos de las plantas
- 48 horas para el lavado y secado de la lana esquilada
- 1 hora preparación mordientes
- 1 noche sumergida la lana en el mordiente
- 1 hora cocinando el tinte
- 24 horas sumergido de lana en el tinte y lavado, secado

Tabla IX. **Proceso de teñido**



Sumersión en tinte

Calentar el tinte en la olla a una temperatura de 40°C. A esa temperatura se introducen las madejas de lana.

Llevar a la temperatura máxima de 90°C y mantenerla así por una hora.



Calentado de material

Para la absorción y fijación del color se debe controlar la temperatura y la alcalinidad y tiempos de exposición.

Dejar enfriar en la olla por lo menos 10 horas o, si se prefiere, toda la noche.



Limpieza de la lana

Desaguar dos veces con jabón neutro, siempre a la misma temperatura a que esté la lana. Dependiendo si el baño de tinción es ácido, se procede a echar un poco de vinagre o jugo de limón, si ha sido alcalino enjuagar con amoníaco, Enjuagar con jabón o sal.

Continuación tabla IX.



Secado de la lana
Secar las madejas a la sombra. Se coloca el recipiente en agua caliente para teñido final.



Resultados de los tintes naturales
Se obtienen diferentes tonos de teñido según tiempo y cantidad de tinte, así como temperatura.

Fuente: elaboración propia.

2.1.5. Propuesta de uso eficiente de la energía térmica en el teñido de lana

Se realizó el teñido de fibras de lana en las pozas existentes con un sistema de lotes tipo *batch*, que consiste en ollas de aluminio y tuberías de cobre donde se sumergen las muestras en el agua caliente proveniente del afluyente térmico.

En el proceso se utilizan tres recipientes con mordientes que fijan el tinte a los hilos de lana, luego se diluye la mezcla diez minutos en agua. Posteriormente se humedecen las tres muestras en cada olla de y se dejan sumergidas durante veinticuatro horas.

Al día siguiente, las ollas se mezclan con los tintes que previamente se han macerado y fermentado, se escurre la lana y se introduce en el baño de tinte. Antes de introducir la lana en el baño de tinte, este se debe colar para evitar que la lana quede con partículas vegetales.

El proceso se hace en una olla cerrada con agua donde se sumerge la lana. El agua de la fuente termal solo pasa dentro de la tubería de cobre, durante los periodos necesarios, para evitar que la contaminación corra por la fuente natural.

Tabla X. **Ahorro de consumo de leña por batch de 19 litros con energía hidrotermal según proceso de teñido**

Proceso de producción	Energía usada	% De proceso	Leña M3	Costo Q
Mordentado	164 KJ	14 %	0,10	6,44
Incorporación de tinte en agua.	209 KJ	19 %	0,14	8,74
Incorporación del reactivo.	418 KJ	38 %	0,27	17,48
Incorporación de la fibra.	194 KJ	18 %	0,13	8,28
Enfriado de la fibra.	121 KJ	11 %	0,08	5,06
Totales	1 106 kJ	100 %	0,71	46

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Proceso eficiente de obtención de energía para tinción**



Olla convencional de acero o aluminio
El material empleado no reacciona con los tintes y hace uniforme la tinción.



Serpentín de cobre

Logra crear colores diversos en combinación con los tintes y los mordientes que se usan. Hace que se proporcione el calor necesario sin contaminar.



Colgantes de sumersión

Hacen que se puedan retirar las lanas y sumergirlas para aplicar los mordientes y manipulación, evitando accidentes en los artesanos.

Fuente: elaboración propia.

Con la propuesta de un sistema eficiente de uso de la energía hidrotermal por medio de un sistema de calentamiento tipo macerado, se evalúa al comparar resultados de rendimiento con el sistema artesanal.

Se estima que para el teñido de 100 libras de lana se necesitan 75 litros de agua por unidad de *batch*. Cada artesano realiza 3 producciones a la semana, lo que genera una demanda de 3 318 KJ de energía y son necesarios 2,13 mts³ de leña.

Se propone un eficiente uso de la energía hidrotermal por medio de un sistema de calentamiento tipo macerado. Se evalúa al comparar resultados de rendimiento con el sistema artesanal y se obtienen resultados positivos para reducir el consumo energético con biomasa.

2.2. Alternativa de uso de energía termal para el calentamiento de agua en hotel Pop Abaj

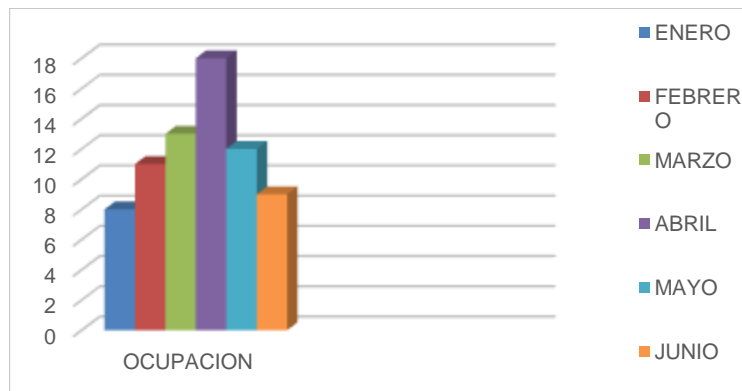
Se estima el consumo eléctrico del hotel Pop Abaj con el fin de generar una cantidad de energía necesaria para el proceso de calentado de agua. Se compara con el total de energía hidrotermal contenida en los afluentes, para evaluar si es sustituible por dicha energía. A continuación, se establece la forma en que se obtendrá la energía del sistema.

2.2.1. Explotación del recurso

Al extraer una fracción pequeña del yacimiento y reinyectar nuevamente en el pozo el agua geotérmica a una temperatura intermedia, se prevé una vida útil de la explotación de 50 años. El hotel se compone en total de 10 habitaciones dobles, 6 simples y 3 triples, 1 suite y 1 sala de reuniones.

Es decir, en plena ocupación, el hotel aloja a 56 personas. Estas son las estadísticas de ocupación de las habitaciones del hotel:

Figura 19. **Distribución anual de ocupación mensual**



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la distribución semanal y en la mensual, a lo largo del año se mantiene constante una elevada ocupación en meses críticos, próxima al 100 % de ocupación y una ocupación moderada de lunes a miércoles.

En resumen, la ocupación de las habitaciones de lunes a viernes se mantiene de media constante con unos valores de 20-30 % y los fines de semana entre el 80-100 %. La ocupación se eleva en fechas festivas.

El sistema instalado de calentamiento de agua deberá cubrir la demanda de calor en condiciones normales con el recurso geotérmico más un sistema de apoyo. Una vez se haya realizado todo el balance térmico en el edificio, la energía necesaria para acondicionar el agua caliente necesaria variará en función de la temperatura del agua de la fuente. Se ha estimado el consumo en función de la ocupación máxima de la fuente termal.

La determinación del consumo de agua se basará en datos estadísticos considerando los momentos de más demanda y capacidad del afluyente, se toma en consideración, número de huéspedes, número de aparatos sanitarios de consumo, tipo de actividades dentro del edificio (demanda) y dimensiones del edificio.

2.2.2. Consumo diario de agua caliente (45 °C)

- Las duchas utilizan 50 personas al día, con un consumo de 100 l por persona.
- Las duchas del balneario las utilizan 80 personas al día, con un consumo de 50 l por persona.
- El balneario consta de 10 pozas. Se ha considerado una ocupación máxima con un consumo de 100 l por persona.
- Para los servicios de tintorería se consumirá 5 m³ de agua caliente al día. A partir de las mediciones anteriores se ha estimado un consumo diario de 20 m³.

2.2.3. Estimación del consumo de agua caliente

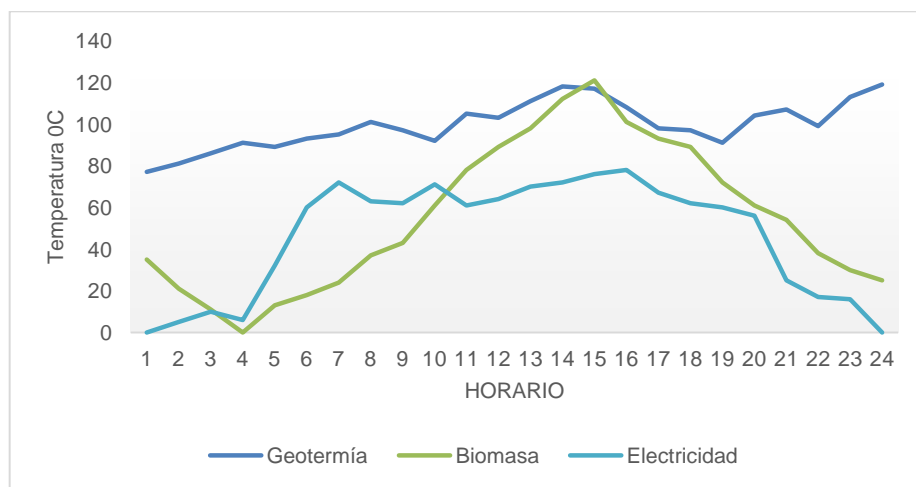
Para producir agua caliente y alcanzar una temperatura de 36 °C con la bomba de calor y compensar las pérdidas de calor del agua acumulada, se prevé un consumo intermitente de energía durante el día. Por otro lado, debe tenerse en cuenta un spa con piscina que hay en el hotel. El uso de estos servicios será controlado.

La ocupación del espacio por motivos de confort para usuarios promedia el radio de 1 persona/20 m²*h de spa. En este caso los 240 m² solo podrán ser ocupados por 12 personas. Es decir, en este espacio donde las duchas son para tratamientos, la demanda máxima con un caudal mayor por hora será como máximo a:

$$12 \text{ personas} \times 70 \text{ litros/uso} = 840 \text{ litros / hora}$$

El uso de estas instalaciones terapéuticas será constante durante las primeras horas de la mañana; cesará su ocupación durante las horas centrales del día debido a las comidas, y volverá a continuar su ocupación durante las tardes hasta las horas de la cena, donde dará por concluido el servicio spa.

Figura 20. **Distribución horaria de consumos de agua caliente**



Fuente: elaboración propia.

El proyecto de instalación geotérmica centralizada para apoyar la demanda de agua caliente y climatización del hotel Pop-Abaj brinda un ahorro por buena gestión de la energía geotérmica de Q100 000 al año.

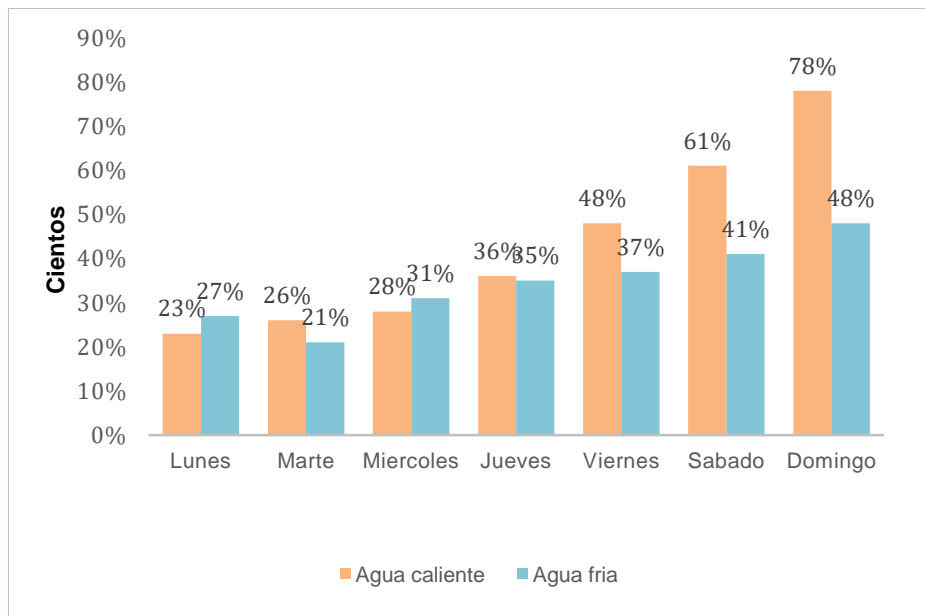
Se estableció que para el calentamiento de 1 000 litros agua son necesarias un total de 700 kJ/kg. Se propone un sistema eficiente de uso de la energía hidrotermal por medio de calentamiento por bomba de calor y se evalúa comparando resultados de rendimiento.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Evaluación del uso de agua termal para el calentamiento del agua del hotel Pop Abaj

El hotel se compone en total de 10 habitaciones dobles, 6 simples y 3 triples, 1 suite y 1 sala de reuniones. Es decir, en plena ocupación, el hotel aloja a 56 personas.

Figura 21. Distribución ocupación semanal primer semestre



Fuente: elaboración propia.

3.1.1. Volumen del edificio

El hotel consta de una planta donde se encuentran instalaciones termales. El área de la instalación es de 2 361 m² y el volumen total, de 8 755 m³. La temperatura interior de proyecto depende en gran medida de la actividad que se va a desarrollar en cada estancia.

Tabla XII. **Zonificación por superficie y volumen de áreas de edificio**

Zona	Áreas de proyecto	Usuarios	Superficie (m ²)	Vol. (m ³)	Temp.
1	Recepción/Balneario/ Sanitarios/Duchas Spa.	20	40	140	36 °C / 25 °C
2	Zona termal (pozas)	60	49	309	90 °C / 210 °C

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Cálculo de potencia térmica

En lo que se refiere a calefacción, las condiciones interiores del proyecto se han fijado en función de los límites de confort de las personas.

3.1.3. Calentamiento de agua potable

Se ha considerado una temperatura media de calentamiento de agua de 36 °C. Según la temperatura interior de proyecto, se ha determinado que se requiere la siguiente cantidad de energía para cada uso, en la siguiente tabla:

Temperatura interior de proyecto	=	21,3 °C.
Temperatura exterior	=	25,6 °C.

Tabla XIII. **Condiciones interiores del edificio**

Estación	Temperatura operativa (°C)	Velocidad media del aire al interior (m/s)	Humedad relativa (%)
Seca	23-25	0,18 m/s - 0,24 m/s	40-60
Lluviosa	20-23	0,15 m/s - 0,20 m/s	40-60

Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Estimación de la potencia térmica para dimensionamiento de sistema

Se ha supuesto que el consumo de agua caliente es constante. Considerando que la temperatura del agua del afluente del mes más desfavorable es de 37 °C, se necesitan 882 kWh diarios. Si se produce el agua caliente en horario nocturno, de 11:00 a 7:00 de la mañana (6h) la potencia máxima necesaria será de 147 kW.

Tabla XIV. **Potencia de calefacción estimada considerando el volumen y la temperatura interior de proyecto de cada área**

Total planta baja + recepción	285 kw
Total primera planta (habitaciones)	103 kw
Total potencia	247 kw

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Criterio del consumo diario de agua caliente a 60 °C**

Unidad de edificio	Litros/día a 60 °C	Energía para la red=15 °C
Hotel 4 estrellas	70 por cama	1 337 kWh/año cama
Duchas colectivas	15 por servicio	286 kWh/año persona
Administración	3 por persona	57 kWh/año persona
Gimnasio	20 por usuario	477 kWh/año persona
Lavanderías	3 a 5 por Kg de ropa	95 kWh/año comida
Restaurantes	5 a 10 por comida	191 kWh/año comida
Cafeterías	1 por comida	19 kWh/año comida
Total		2 462 kWh/año comida

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de la demanda térmica de agua caliente sanitaria se han tenido en cuenta las premisas de cálculo especificadas por el código técnico de la edificación de España.

Tabla XVI. **Demandas de agua caliente en plena ocupación**

Tipo de edificio/Servicio	Litros/día 60 °C	Cantidad	Total litros
Hotel 4 estrellas	70 por cama	115	8 050
Restaurante	5 por comida	300	1 500
Cafetería	1 por almuerzo	50	50
Duchas spa	60 por servicio	115	6 900
Duchas piscina	15 por servicio	115	1 725
Total	-	-	18 225

Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. *Código Técnico de Edificación España. Madrid, España.* Consultado el 23 de octubre de 2019. Recuperado de <https://sede.idae.gob.es/lang/modulo/?refbol=tramites-servicios&refsec=renovacion-energetica-age>

El cálculo total, que asciende a 18 225 litros de agua caliente al día, es para un día típico de plena ocupación. Según las tablas de distribución anual de ocupaciones del hotel, esto puede ocurrir los fines de semana o vísperas de días festivos.

El resto de días del año, en su mayor parte de lunes a viernes, tal y como se ha mostrado anteriormente, el máximo porcentaje de ocupación de hotel oscila entre el 20–30 %; no supera nunca el 40 % de ocupación en habitaciones y el restaurante tampoco supera el 10 % de ocupación, por lo que los consumos típicos medios de lunes a viernes oscilarán entre los 3 645 y los 7 290 litros, al 20 % y al 40 %, respectivamente.

Atendiendo a las temperaturas de cada mes y los consumos hallados, se muestran a continuación los resultados obtenidos de potencia diaria media en función del mes:

Tabla XVII. **Consumo de agua de lunes a miércoles**

Tipo de edificio/servicio	Litros/día 60 °C	Cantidad	Total de litros
Hotel 4 estrellas	70 por cama	115 * 0,3	2 415,0
Restaurante	5 por comida	300 * 0,05	75,0
Cafetería	1 por almuerzo	50 * 0,1	5,0
Duchas spa	60 por servicio	115 * 0,3	2 070,0
Duchas piscina	15 por servicio	115 * 0,3	517,5
Total			5 082,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Consumo de agua jueves a viernes**

Tipo de edificio/Servicio	Litros/día 60 °C	Cantidad	Total de litros
Hotel 4 estrellas	70 por cama	115 * 1	8 050,0
Restaurante*	5 por comida	300 * 0,1	150,0
Cafetería	1 por almuerzo	50 * 0,1	5,0
Duchas spa**	60 por servicio	115 * 0,3	2 070,0
Duchas piscina	15 por servicio	115 * 0,3	517,5
Total	-		10 792,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Consumo agua fines de semana**

Tipo edificio/servicio	litros/día 60 °C	cantidad	total litros
hotel 4 estrellas	70 por cama	115	8 050
restaurante*	5 por comida	300	1 500
cafetería	1 por almuerzo	50	50
duchas spa**	60 por servicio	115	6 900
duchas piscina	15 por servicio	115	1 725
Total			18 225

Fuente: elaboración propia.

En función de las temperaturas del agua en red para la ubicación del hotel se halla la potencia necesaria para el consumo diario, según la distribución de consumos semanal del hotel.

Tabla XX. **Potencias diarias de agua caliente**

Mes	Semana	Volumen (Litros)	Temperatura de Red (°C)	Transferencias de energía watts (Kcal/h)
Mayo	Lunes - jueves	5 082,50	21	274 455
	Viernes	10 792,50	23	582 795
	Sábado-domingo	18 225,00	23,5	984 150

Fuente: elaboración propia.

3.2. Comparación de consumo de agua termal vs biomasa de leña y energía eléctrica

Para la sustitución de la biomasa necesaria en el proceso de teñido de lanas, se estima que en el municipio se consumen entre 138 525 a 193 542 m³/año de leña en los hogares. En relación al consumo en la pequeña industria se estiman 2 220 m³/año. El poder calorífico es de aproximadamente 6 376 Kcal/Kg.

Tabla XXI. **Comparación del poder calorífico de la leña versus el poder calorífico de la energía hidrotermal**

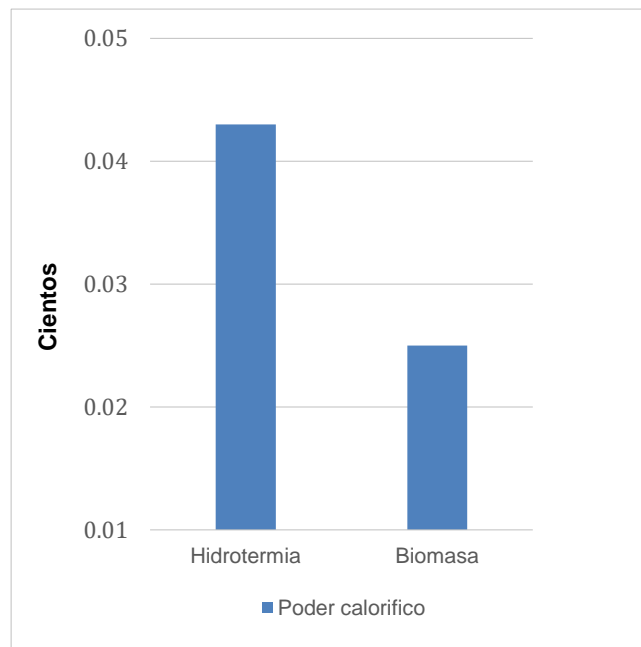
Especie	Tarea	Carga	M ³ Usuario	kg	kcal/Kg	kWh
Pino	Q 160,00	Q 22,00	0,058	58	7 048	19,71
Roble	Q 225,00	Q 28,00	0,043	3	5 875	12,24
Encino	Q 230,00	Q 25,00	0,061	1	6 130	18,11

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados de poder calorífico de la madera, los cuales fueron proporcionados por el laboratorio del Ministerio de Energía y Minas de la República de Guatemala (MEM). Se comparó el poder calorífico de la leña más utilizada por los hogares del área rural del municipio de Momostenango, versus el poder calorífico de la energía termal para teñido de textiles.

La especie arbórea más utilizada en Momostenango es el pino, cuyo poder calorífico es 7 048 kcal/kg, equivalente a 29,49 MJ/kg (INAB, FAO/FFF, 2016).

Figura 22. **Poder calorífico biomasa vs hidrotermia**



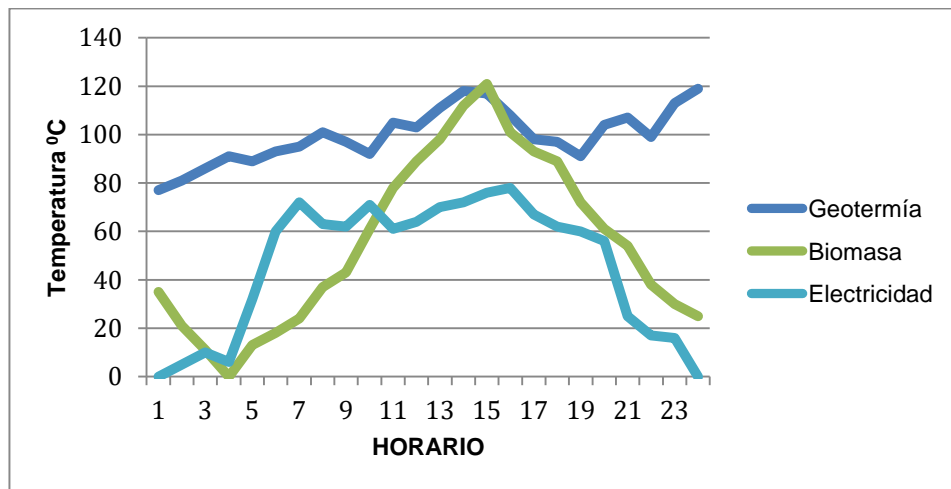
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Demanda de energía según consumo**

Área	Energía hidrotermal	Temp.	Caudal m3/s	Costo	potencia
Habitaciones	984 KJ	50 °C	0,32	1 760	1 273 kW/h
Área Spa + Duchas	1 164 KJ	22 °C	0,47	2 560	2 321 kW/h
Piscina + Duchas.	1 050 KJ	22 °C	0,23+2,35	3 360	2 291 kW/h
Administración, Restaurante, Lavandería.	1 710 KJ	22 °C	1,18	1 120	751 kW/h
Total					6 636 KWh

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Temperaturas de salida de fuentes de calor tradicional vs geotermia**



Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se discute los resultados del proceso del afluyente para tintorería.

4.1. Procesos de uso del afluyente para tintorería

Se determinaron los parámetros para evaluar el uso de aguas termales en el teñido de lana. Se tomaron muestras con tinte para establecer si el calor proporcionado por el afluyente satisfacía la demanda de calor, aplicando el sistema eficiente de calentado de agua. Se evaluó junto a los usuarios la calidad del teñido, se indicó por parte de ellos que tendrían un gran ahorro en el uso de este sistema.

Hacer eficiente el uso de la tecnología artesanal para el proceso de tinción brinda un aprovechamiento de la energía proveniente del afluyente hidrotermal. Da la oportunidad de generar un mayor volumen de producción y disminución de uso de agua, por medio de la recirculación de agua. Evita que se dañen las aguas usadas para el proceso y se reduce al mínimo la contaminación por uso de las mismas.

Las muestras de lana variaron en tonalidades por los distintos procesos de teñido. La utilización de cobre en el serpentín hace variar el mordentado y que los tonos de las fibras sean más marcados por la disminución de tiempo en el proceso. La aplicación de calor uniforme y controlado hace más eficiente el sistema.

Se disminuye al mínimo la producción de gases de efecto invernadero. La quema de leña se sustituye por el empleo de energía hidrotermal, lo que es equivalente a 16 tareas de leña por año, según cálculo realizado.

Se determinó que el proceso nuevo evitará el desperdicio de energía para uso del sistema y logrará así atender una mayor demanda. Se podrá hacer un manual que se les entregará a los usuarios para obtener el mayor beneficio del nuevo sistema.

4.2. Capacidad de afluente para energía hidrotermal

Dentro del objetivo de la investigación estaba el desarrollo del diseño de un sistema eficiente de distribución de agua, lo que generó una propuesta de uso de bomba de calor para hacer más aprovechable el recurso. Se llevó el registro de la temperatura por medio de calorímetro, para determinar la capacidad hidrotermal del sistema. Se encontró con que se puede lograr un ahorro entre 60 % y 75 % de gastos de energía, debido al empleo de sistemas auxiliares de bombeo.

Los datos se tomaron durante 6 meses y se observó que existe una variación en el caudal del afluente y la temperatura. Ambos cambian según la época del año, debido, en todo caso, a las condiciones naturales del lugar. La menor capacidad del afluente no coincide con la máxima demanda requerida en esa época del año (marzo y abril), la cual es menor de la capacidad total disponible en ese punto.

Para el aprovechamiento eficiente del afluente se instalan colectores para recepción del agua del pozo. La profundidad puede variar desde 20 hasta más de 100 metros, con diámetros que oscilan entre 10 y 15 centímetros,

dependiendo del estudio geológico. Se determinó que el sistema será de tipo sondeo por captación ya que es el más eficiente por la naturaleza del proyecto y toma en cuenta los siguientes aspectos:

- La capa del suelo no tiene el suficiente espesor como para instalar un colector horizontal ya que la superficie disponible para enterrarlos es limitada.
- Los colectores que satisfacen la demanda requerida son los verticales, según especificaciones de los fabricantes de equipos ya que ocupa un espacio reducido y se puede colocar próximo al edificio.
- El sondeo se rellena de manera que permita la adecuada transmisión de calor a los tubos captadores que se encuentran en su interior y se requerirá de entubado en los primeros metros para garantizar la estabilidad.
- Se tomará en cuenta que el sistema debe ser de tipo programable para permitir el control de los equipos y conocer los principales parámetros de operación: producción, temperatura, presión, consumo y caudal y sistema de detección de fallas.
- Mientras, el acumulador estabilizará el sistema a la temperatura necesaria. Para el área textil es necesaria una máxima de 100 °C y para el área del hotel, no superará los 55 °C.

CONCLUSIONES

1. El sistema bomba de calor para uso eficiente de la energía hidrotermal de Payexu logró satisfacer la demanda de agua caliente para teñido de textiles y también para uso en hotel Pop Abaj,
2. El uso alternativo de energía hidrotermal para teñido en la industria textil determinó que la cantidad de calor obtenido logrará resultados de ahorro del 90 % en la factura eléctrica.
3. El uso alternativo de energía hidrotermal para calentamiento de agua caliente sanitaria en hotelería, determinó que es posible eliminar la demanda del 100 % de consumo de leña para las instalaciones del hotel Pop Abaj.
4. Se ha comparado la eficiencia del uso de la energía hidrotermal de baja entalpía para la industria textil y turística contra la energía generada con leña. Se encontró que se generaría un ahorro a la comunidad de Momostenango equivalente a un gasto de más de Q 1 200,00 por familia.
5. Debe realizarse estudios físicos, químicos y geofísicos en los diferentes estratos, para analizar la estructura del subsuelo y evaluar si se puede explotar de mejor manera el yacimiento y aplicar un adecuado tratamiento de potabilización.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar si en el mercado existe alguna empresa especializada para implementar un sistema que aumente la capacidad de obtención de energía hidrotermal, para alcanzar el máximo de eficiencia de la fuente térmica de Payexu para uso en hotel Pop Abaj.
2. Estandarizar los procesos de teñido, ya que el método propuesto puede variar los tonos y se deberá calibrar los equipos para que los colores resultantes no sean afectados en su coloración. Posteriores estudios deberán tener en cuenta el desarrollo de tintes ecológicos.
3. Implementar sistemas auxiliares de suministro de energía renovable para incrementar la rentabilidad del proyecto, ya sea solares o eólicos, para brindar soporte al sistema y satisfacer la demanda de energía para la industria textil artesanal.
4. Realizar una auditoría energética durante el proceso de implementación del proyecto, para detectar pérdidas caloríficas y cuantificar el costo beneficio al igual que en la fase de operación.
5. Realizar estudios físicos, químicos y geofísicos para determinar el proceso de potabilización para uso de agua caliente sanitaria en el hotel. Analizar la estructura del subsuelo para determinar si se puede explotar de mejor manera la fuente hidrotermal para la implementación del proyecto.

REFERENCIAS

1. Alfaro, C. (2015). *Improvement of Perception of the Geothermal Energy as a Potential Source of Electrical Energy in Colombia, Country Update*. Bogotá, Colombia: Paper presented at the Proceedings World Geothermal Congress. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/Improvement-of-Perception-of-the-Geothermal-Energy-Alfaro/1cf8a54e5c920e6028cf1a32ff68849b7a81c9d1>
2. Batres C., De Batres L., Garnica M., Martínez R., Valle R. (2010) “*Las Evidencias de la Industria del Añil en la Cuenca Copan-Ch’orti*”. *Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*. Guatemala, Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología. Recuperado de http://www.famsi.org/reports/03101es/53batres_batres/53batres_batres.pdf.
3. Biosca, J. (2014) *Modelado y análisis de un depósito de almacenamiento latente de energía térmica con intercambiador de calor tipo serpentín*. (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia.
4. Boyle G.; Everett B; Peake S; Ramage J. (2014) *Sistemas de Energía y Sostenibilidad: Energía para un Futuro Sostenible, 2ª Edición*. Oxford University Press.

5. Cano, T., Mérida M., Mario J. (2010). *Estudio tecnológico sobre la reactivación de la producción y uso del tinte natural obtenido del añil (Indigofera guatemalensis moc.) utilizado por cooperativas de mujeres, dedicadas a la elaboración de artesanías, en el área del occidente de Guatemala*. Guatemala, Guatemala: Dirección General de Investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala.
6. Carranza, I. (2005) *Colorantes y métodos de tinción en la artesanía textil guatemalteca*. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
7. Chapple, P. (2008) Confort térmico en las viviendas, *Revista BIT*, 61, 38-41.
8. Reyes, A. (1993) *Sistemas geotérmicos de roca seca y caliente: una fuente de energía no convencional*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
9. Garzón, G. (1997). *Catálogo de fuentes termales del suroccidente colombiano*. Colombia: Ministerio de Minas y Energía, Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química, Ingeominas. Colombia.
10. Hostnig, R., y Vásquez, L. (1998). *Etnobotánica Mam. Proyecto de educación Bilingüe Intercultural Maya*. Ministerio de Asuntos Exteriores del Gobierno de Austria. Comisión Diocesana para misiones y ayuda al desarrollo, Austria: Instituto para la Cooperación Internacional. Guatemala. pp. 161- 279.

11. IDEA. (2008). *Manual de Geotermia*. Banco Interamericano de Desarrollo Convenio ISAGEN – BID/JC. Recuperado de <http://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6558/Energia%20Geotermica%20Colombia%207-1-14finalweb.pdf?sequence=1>
12. LLopis T. y Rodrigo V. (2008). *Guía de la Energía Geotérmica*. Madrid, España: Dirección General de Industria, Energía y Minas Consejería de Economía y Consumo.
13. Lopez, A. (2009) *Aprovechamiento de un recurso geotérmico de baja entalpía para aguas termales, climatización y agua caliente sanitaria de un Balneario*. (Tesis de maestría) Universidad De Barcelona, Barcelona.
14. Maraver, F. (2008). Importancia de la medicina termal. *Balnea*, 4, 35-50.
15. Marzolf, N. (2014). *Emprendimiento de la energía geotérmica en Colombia*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID)- ISAGEN.
16. O'Neale, L. (1980). *Tejidos de los Altiplanos de Guatemala (2ª. edición)*. Ed. José de Pineda Ibarra.
17. Ortiz Domingo, A. (1998) *Momostenango*. Subcentro Regional de Artesanías y Artes Populares.
18. Piloña, G. (2002) *Recursos Económicos de Guatemala y Centroamérica (2ª. Edición)*. G.A. Piloña Ortiz.

19. Rocky Mountain Institute. (2015). *Diagrama McKelvey*. Recuperado de http://www.rmi.org/RFGraphMcKelvey_diagram_for_coal_gas_resources.
20. Rueda, T. Valdés, A. (1998). *La artesanía de la lana en Momostenango*. Sub-Centro Regional de Artesanías y Artes Populares.
21. Sub-centro Regional de Artesanías y Artes Populares Guatemala. Ministerio de Cultura y Deportes. Organización de los Estados Americanos. (1990). *Distribución Geográfica de las Artesanías de Guatemala (2ª. Edición)*. Subcentro Regional de Artesanías y Artes Populares; Ministerio de Cultura y Deportes ; Organización de los Estados Americanos.

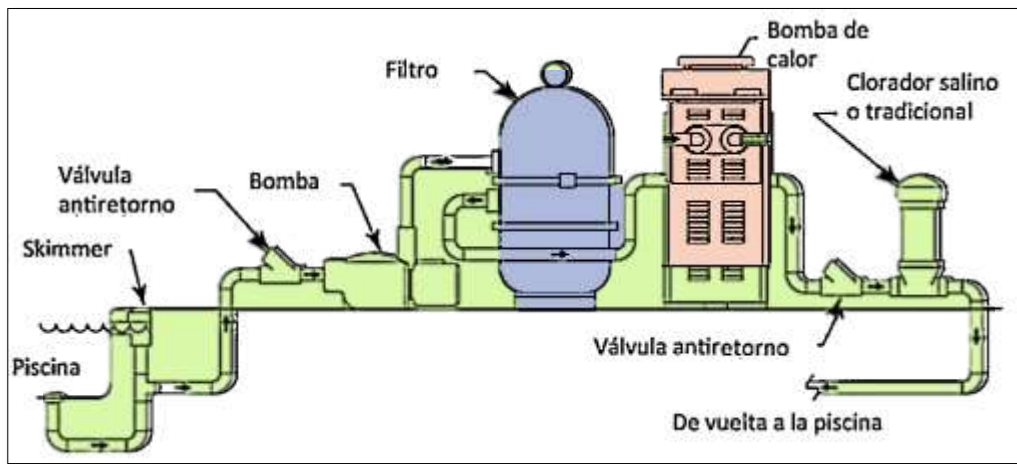
APÉNDICES

Apéndice 1. Total de energía necesaria para calentar el sistema y sus áreas

Unidad de edificio	Energía para la Red = 22 °C
Hotel 4 estrellas	1 337 kWh/año cama.
Duchas colectivas	286 kWh/año persona.
Administración	57 kWh/año persona.
Gimnasio	477 kWh/año persona.
Lavanderías	95 kWh/año comida.
Restaurantes	191 kWh/año comida.
Cafeterías	19 kWh/año comida.

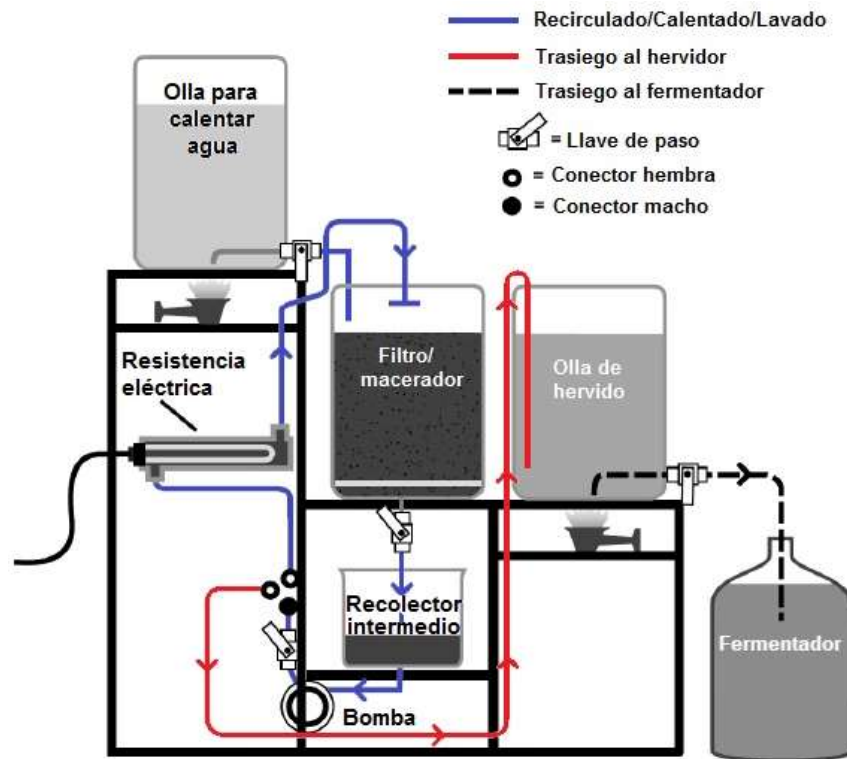
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Esquema de proceso de calentamiento de agua para uso en el hotel



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Esquema de proceso de calentamiento de agua para teñido de telas



Fuente: elaboración propia.