



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE CLIMATIZACIÓN APROVECHANDO ENERGÍA GEOTÉRMICA
UTILIZANDO INTERCAMBIADOR DE CALOR AIRE-TIERRA EN FINCA
PRIMAVERA, PUEBLO NUEVO VIÑAS, SANTA ROSA**

Jorge Alejandro Avilés Jiménez

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, septiembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE CLIMATIZACIÓN APROVECHANDO ENERGÍA GEOTÉRMICA
UTILIZANDO INTERCAMBIADOR DE CALOR AIRE-TIERRA EN FINCA
PRIMAVERA, PUEBLO NUEVO VIÑAS, SANTA ROSA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JORGE ALEJANDRO AVILÉS JIMÉNEZ

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

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. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

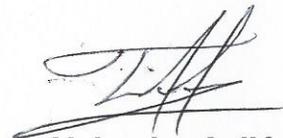
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera López

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:

**DISEÑO DE CLIMATIZACIÓN APROVECHANDO ENERGÍA GEOTÉRMICA
UTILIZANDO INTERCAMBIADOR DE CALOR AIRE-TIERRA EN FINCA
PRIMAVERA, PUEBLO NUEVO VIÑAS, SANTA ROSA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 26 de septiembre de 2017.



Jorge Alejandro Avilés Jiménez



Guatemala, 09 de julio de 2019
REF.EPS.DOC.484.07.19.

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Jorge Alejandro Avilés Jiménez** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201124164, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISEÑO DE CLIMATIZACIÓN APROVECHANDO ENERGÍA GEOTÉRMICA UTILIZANDO INTERCAMBIADOR DE CALOR AIRE-TIERRA EN FINCA PRIMAVERA, PUEBLO NUEVO VIÑAS, SANTA ROSA.**

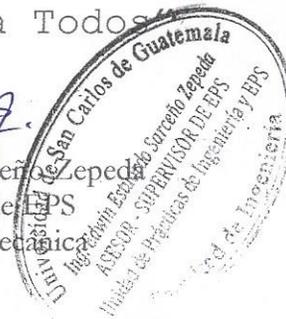
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Edwin Estuardo Sacceño Lepedez
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo
EDSZ/ra



Guatemala, 09 de julio de 2019
REF.EPS.D.248.07.19

Ing. Roberto Guzmán Ortíz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Guzmán Ortíz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **DISEÑO DE CLIMATIZACIÓN APROVECHANDO ENERGÍA GEOTÉRMICA UTILIZANDO INTERCAMBIADOR DE CALOR AIRE-TIERRA EN FINCA PRIMAVERA, PUEBLO NUEVO VIÑAS, SANTA ROSA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Jorge Alejandro Avilés Jiménez** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



OAH/ra



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.228.2019

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor de EPS y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE CLIMATIZACIÓN APROVECHANDO ENERGÍA GEOTÉRMICA UTILIZANDO INTERCAMBIADOR DE CALOR AIRE-TIERRA EN FINCA PRIMAVERA, PUEBLO NUEVO VIÑAS, SANTA ROSA** desarrollado por el estudiante **Jorge Alejandro Avilés Jiménez**, CUI 2134829830101 y Reg. Académico No. 201124164 recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Coordinador Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, julio 2019



USAC
TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.229.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE CLIMATIZACIÓN APROVECHANDO ENERGÍA GEOTÉRMICA UTILIZANDO INTERCAMBIADOR DE CALOR AIRE-TIERRA EN FINCA PRIMAVERA, PUEBLO NUEVO VIÑAS, SANTA ROSA** desarrollado por el estudiante **Jorge Alejandro Avilés Jiménez**, CUI **2134829830101** y Reg. Académico No. **201124164** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, septiembre 2019

/aej

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref.DTG.408.2019

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 Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE CLIMATIZACIÓN APROVECHANDO ENERGÍA GEOTÉRMICA UTILIZANDO INTERCAMBIADOR DE CALOR AIRE-TIERRA EN FINCA PRIMAVERA, PUEBLO NUEVO VIÑAS, SANTA ROSA**, presentado por el estudiante universitario: **Jorge Alejandro Avilés Jiménez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, Septiembre de 2019

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme sabiduría y abundantes bendiciones.
- Mis padres** Jorge Eduardo Avilés Salazar y Dina Consuelo Jiménez Lima, por darme el ejemplo y el apoyo en esta etapa.
- Mis hermanos** Por su cariño y comprensión.
- Mi novia** Silvana M. Lorenzo, por su comprensión, cariño, amor y apoyo en esta etapa.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida y permitirme cumplir con mis metas.
Mi asesor	Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda, por apoyarme y brindarme la asesoría necesaria en este proceso.
Prefaco S.A.	En especial al ingeniero Marco Vinicio Monzón Carrera, por todo su apoyo y sabiduría en este proyecto.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos y las habilidades que pondré en práctica como profesional.

1.3.2.1.	Confort térmico.....	18
1.3.2.2.	Equipos aire acondicionado domésticos	20
1.3.2.2.1.	Equipos minisplit.....	21
1.3.2.3.	Cargas de enfriamiento	22
2.	FASE DE INVESTIGACIÓN.....	29
2.1.	Consumo energético en la climatización	29
2.2.	Climatización eficiente.....	29
2.3.	Ahorro energético.....	29
2.4.	Sistema utilizando, equipo de A/C mecánico	30
2.4.1.	Cálculo de cargas.....	30
2.4.1.1.	Cargas de enfriamiento	31
2.4.1.2.	Cargas sensibles.....	31
2.4.1.2.1.	Calor debido a radiación solar a través de ventanas	31
2.4.1.2.2.	Calor debido a la transmisión a través de paredes, techo, piso y vidrios.....	32
2.4.1.2.3.	Calor sensible debido al aire de infiltraciones.....	35
2.4.1.2.4.	Calor sensible generado por las personas.....	36
2.4.1.2.5.	Calor generado por la iluminación.....	36

	2.4.1.2.6.	Calor generado por aparatos eléctricos.....	37
	2.4.1.3.	Cargas latentes.....	38
	2.4.1.3.1.	Calor latente debido al aire de infiltraciones.....	38
	2.4.1.3.2.	Calor latente generado por personas.....	38
	2.4.1.4.	Calor total	39
	2.4.2.	Selección de equipo	39
2.5.		Sistema utilizando intercambiador aire-tierra.....	40
	2.5.1.	Selección de equipo	40
	2.5.2.	Comparación energética.....	41
	2.5.2.1.	Sistema utilizando A/C.....	42
	2.5.2.2.	Sistema utilizando intercambiador de calor aire-tierra.....	43
	2.5.2.3.	Comparación energética.....	43
3.		FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	45
	3.1.	Climatización utilizando energía geotérmica	45
	3.2.	Análisis de terreno y construcción	45
	3.2.1.	Terreno	45
	3.2.2.	Construcción.....	46
	3.3.	Diseño de un intercambiador aire-tierra	48
	3.3.1.	Temperatura	48
	3.3.1.1.	Exterior	48
	3.3.1.2.	Subsuelo.....	48
	3.3.2.	Punto de captación de aire	51

3.3.3.	Filtros.....	51
3.3.4.	Tubería intercambiador de calor.....	51
3.3.5.	Punto de drenaje	52
3.3.6.	Elemento de circulación de aire	53
3.3.6.1.	Natural.....	54
3.3.6.2.	Forzada	54
3.3.6.2.1.	Ventilación mecánica: entrada mecánica y extracción natural	54
3.3.6.2.2.	Ventilación mecánica: entrada natural y extracción mecánica.....	55
3.3.6.2.3.	Ventilación mecánica: entrada mecánica y extracción mecánica.....	56
3.4.	Diseño de sistema con el uso de intercambiador de calor aire-tierra.....	57
3.5.	Costos	60
3.5.1.	Comparación de costos.....	62
4.	FASE DE DOCENCIA.....	63
4.1.	Funcionamiento.....	63
4.2.	Mantenimiento.....	64
4.3.	Instalación	65
4.3.1.	Punto de captación del aire	66
4.3.2.	Filtros.....	66
4.3.3.	Intercambiador de calor.....	66
4.3.4.	Elemento de circulación del aire.....	67
4.4.	Consideraciones	67

4.4.1.	Construcción.....	67
4.4.2.	Diseño	68
4.4.2.1.	El tipo de material de los conductos	68
4.4.2.2.	Dimensionado del sistema.....	69
CONCLUSIONES		71
RECOMENDACIONES		73
BIBLIOGRAFIA.....		75
ANEXOS		77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figuras

1.	Casa modelo y oficina Prefaco S. A.....	2
2.	Organigrama de la empresa.....	4
3.	Esquema intercambiador aire-tierra geo consultores.....	7
4.	Ventilador DB8-SELLO	41
5.	Imagen Equipo marca Carrier MiniSplit.....	42
6.	Imagen 3D de la vivienda.....	47
7.	Medidas de la vivienda.....	47
8.	Imagen del terreno	49
9.	Imagen de la excavación.....	49
10.	Imagen de la profundidad de la excavación	50
11.	Imagen de la medición de la temperatura en la excavación.....	50
12.	Imagen del diseño del sistema.....	60
13.	Diagrama básico de un intercambiador de calor aire-tierra.....	64

TABLAS

I.	Características del suelo.....	46
II.	Comparación de costos.....	62

LISTA DE SIMBOLOS

Símbolo	Significado
cp	Calor específico
QL	Calor latente
QS	Calor sensible
Hz	Ciclos por segundo (hertz)
U	Coeficiente de transferencia de calor de materiales
hi	Coeficiente de transferencia de calor en la superficie interna del tubo
kA	Conductividad térmica del aire en el tubo [W/(m K)]
ks	Conductividad térmica del suelo
DC	Corriente directa
DT	Diferencia de temperatura
α	Difusividad térmica
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
H	Horas
Kw	Kilowatts
psi	Libra por pulgada cuadrada (siglas en inglés)
m²	Metros cuadrados
mA	Miliamperios
Nu	Número de Nusselt del aire en el tubo
Pr	Número de Prandtl
Re	Número de Reynolds

ξ	Parámetro adimensional el cual describe la profundidad térmica
ft²	Pie cuadrado
CFM	Pie cúbico por minuto (siglas en inglés)
B	Razón de transferencia de calor
S	Segundos
Tmax	Temperatura ambiental máxima anual
Tsuperficial	Temperatura en la superficie de la tierra
Tm	Temperatura media anual del ambiente
t	Tiempo
T.R.	Tonelada de refrigeración
Btu	Unidad térmica británica
W	Watts

GLOSARIO

Acondicionamiento de aire	Proceso, o procesos, de tratamiento de aire que modifica sus condiciones para adecuarlas a unas necesidades determinadas.
Cargas de enfriamiento	La cantidad de calor que se retira.
Cargas latentes	Aumentan la humedad por la adición de vapor de agua al sistema.
Cargas sensibles	Son las que ocasionan un aumento a la temperatura del aire.
Caudal	Cantidad de fluido que circula a través de una sección por unidad de tiempo.
Climatización	Consiste en crear las condiciones de temperatura, humedad y limpieza del aire requeridas.
Condensación	Proceso donde el vapor cambia a líquido y pierde el calor latente de condensación hacia el alrededor.
Confort térmico	Temperatura ideal del ambiente para generar condiciones agradables.
Ducto	conducto para distribución de fluidos.

Energía geotérmica	Tipo de energía renovable que se obtiene a partir del calor del interior de la tierra.
Intercambiador de calor	Dispositivo diseñado para transferir calor entre dos medios, que estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto.
Intercambiador de calor aire-tierra	Intercambiador que utiliza aire y el subsuelo como medios de transferencia de calor.
Prefabricado	Se aplica a la construcción (edificio, barco, entre otros) o parte de ella que, en lugar de construirse en el lugar donde va emplazada, se ha fabricado en serie en otro lugar para que luego solo haya que colocarla o acoplarla en el lugar correspondiente.
PVC	poli cloruro de vinilo y es el derivado del plástico más utilizado.
Renovación de aire	acción de sacar e introducir un volumen de aire determinado.
Subsuelo	Parte del terreno que está por debajo de la superficie terrestre.
Tonelada de refrigeración	Es la unidad nominal de extracción de carga térmica.

RESUMEN

El intercambiador de calor aire-tierra tiene como función intercambiar temperatura con el aire que se introduce a este; el objetivo de esto es que se pueda introducir aire con una temperatura menor a la que está en el ambiente economizando energía eléctrica

Para diseñar un sistema de intercambiador de calor aire-tierra se tienen que tomar en cuenta ciertos factores que se verán en este trabajo.

Al diseñar este sistema se determinó que se requiere de un sistema con una longitud de tubería de 12 metros y se seleccionó un sistema de impulsión de aire que cumpla con los requerimientos del caudal de aire.

Se seleccionó un sistema de aire acondicionado para el mismo ambiente con el fin de realizar una comparación del consumo energético y ahorro económico entre los dos sistemas; el equipo de aire acondicionado será un equipo de 2 toneladas de refrigeración.

Para realizar la comparación energética se consultó el tiempo promedio, el cual usarían estos sistemas diariamente; se estimó que un promedio de 4 horas diarias; haciendo los cálculos y tomando en cuenta el tiempo como un año de uso, se loró estimó que el sistema de intercambiador de calor aire-tierra si le brindaría un ahorro considerable en el consumo energético comparado con el sistema de aire acondicionado; siendo el primero un gasto anual de Q 187,46 de energía y con un sistema de aire acondicionado se gastarían Q7 354,83 anuales de energía eléctrica.

OBJETIVOS

General

Diseñar un intercambiador aire tierra y determinar su viabilidad energética.

Específicos

1. Determinar si se reduce el consumo de energía eléctrica en la climatización utilizando intercambiador de calor aire-tierra.
2. Definir cómo utilizar la energía geotérmica en climatización que utiliza un intercambiador aire-tierra.
3. Capacitar y mejorar los conocimientos de la utilización de este tipo de energía para la climatización en la empresa.

INTRODUCCIÓN

La energía geotérmica es el aprovechamiento de la energía que provee el suelo. Una de las formas de aprovechar esta energía es en la climatización, el subsuelo tiene una temperatura constante a cierta distancia, la cual al ser aprovechada se puede utilizar un intercambiador de calor para introducir aire a este y mejorar las condiciones de confort en la casa a la cual este aire será introducido. Este aprovechamiento es una solución para tener mejores condiciones de temperatura en el interior comparadas al ambiente exterior.

Los beneficios que da este tipo de energía es que es muy económico y al momento de querer utilizar un sistema de aire acondicionado en el interior, este estará realizando un trabajo con una temperatura menor al ambiente exterior, lo que causa mejor eficiencia del sistema, menor trabajo al compresor y un ahorro energético considerable.

En el presente trabajo de graduación se espera obtener más información sobre el impacto de ahorro de energía que se utiliza con este sistema para lograr llegar a tener una temperatura inferior a la ambiental en la vivienda. Para determinar la factibilidad del problema en estudio se llevará a cabo la selección de un sistema de aire acondicionado y la selección de un intercambiador de calor aire-tierra para realizar la comparación del consumo energético y el costo de esta energía en un año de uso.

Se debe tomar en cuenta que si llegara a comprobar su viabilidad energética es un sistema con el cual traería mucho beneficio a la economía del

usuario y cumpliría con los objetivos de Prefaco S.A. para ser un sistema eficaz y económico para ofrecer al público.

1. GENERALIDADES

1.1. Descripción de la empresa

Prefaco S. A. se dedica a la construcción de viviendas con sistemas prefabricados con el fin de una forma de construcción segura, económica y rápida.

Con el objetivo de ofrecer servicios eficientes y económicos se demuestra interés en la energía geotérmica para la climatización de interiores, ya que su implementación es más económica cuando el proyecto de vivienda está en construcción.

1.1.1. Ubicación

Prefaco S.A. cuenta con una planta de producción para el sistema prefabricado y una casa modelo.

Dirección: 4ta calle A 13-58, colonia La Escuadrilla, zona 2 de Mixco.

Figura 1. **Casa modelo y oficina Prefaco S. A.**



Fuente: elaboración propia.

1.1.2. Historia

Prefaco se fundó el 16 de noviembre de 1993, un grupo de ingenieros analizó la necesidad de una construcción de vivienda, segura, económica y de rápida construcción, con materiales resistentes.

Se obtiene satisfacción en los servicios que utiliza materiales aprobados por FHA y las resistencias del concretos es ensayada y certificada periódicamente por el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Usac.

1.1.3. Misión

- Realizar la producción de todos los elementos estructurales desde la cimentación hasta la cubierta.

- Garantizar a nuestros clientes una fabricación e instalación profesional y calificada.
- Contribuir al desarrollo de la comunidad ofreciendo viviendas económicas y seguras.

1.1.4. Visión

Ser la empresa líder en construcción económica y eficiente.

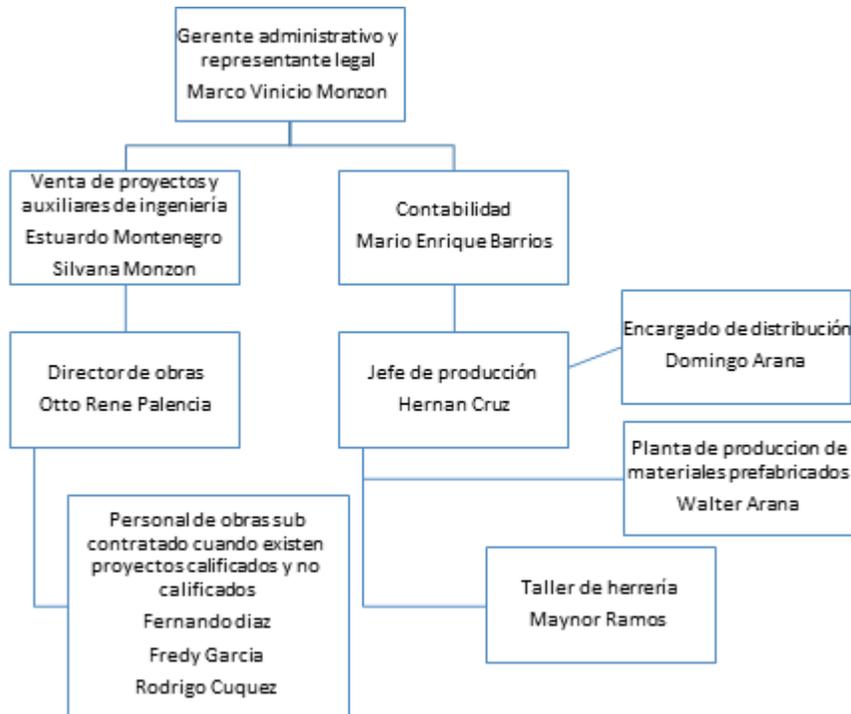
1.1.5. Valores

- Responsabilidad social
- Transparencia y honestidad
- Lealtad
- Actitud de servicio

1.1.6. Organigrama

En este apartado se encuentra la estructura administrativa de la entidad Prefaco S.A., con el objeto de poder comprender de manera más amplia los departamentos y personas que la conforman y por consiguiente las funciones que cada uno realiza.

Figura 2. Organigrama de la empresa



Fuente: elaboración propia.

1.2. Descripción del problema

Prefaco S.A. como objetivo tiene construir casas prefabricadas resistentes y económicas para cumplir con las necesidades de los clientes, gran parte de las viviendas construidas están situadas en lugares de climas cálidos, por ese interés se quiere entrar al área de climatización de manera económica y eficiente. La aplicación de esta tecnología es más económica si se aplica desde el momento de la construcción de la vivienda que aprovecha todos los recursos y el tiempo antes que sea habitable.

La empresa no cuenta con información de este sistema o de cómo aprovechar esta energía, con el objetivo de querer ofrecer servicios económicos y eficientes.

La eficiencia energética es actualmente un asunto de interés para la mayoría de los consumidores para vivir de una manera más consciente y ofrecer servicios y productos que sean eficientes y económicos para el consumidor, para lograr beneficios económicos al momento de ahorrar energía eléctrica y gastos en la instalación de estos sistemas.

1.3. Marco teórico

El intercambiador de calor aire-tierra tiene como función el utilizar energía para poder realizar el intercambio de calor entre la tierra y el aire que se introducirá en el mismo, generando la diferencia de temperatura entre el aire exterior y el que saldrá del sistema.

1.3.1. Energía geotérmica

La energía geotérmica es un tipo de energía renovable que se obtiene a partir del calor del interior de la Tierra aprovechando ese calor sin necesidad de algún proceso que requiera combustión; por tanto, una forma de energía limpia sin emisiones de dióxido de carbono.

La temperatura en las capas interiores de la Tierra se mantiene constante durante las diferentes estaciones del año. Generalmente, las capas interiores están más calientes que la superficie en invierno y más frías en verano.

Se puede utilizar directamente el calor generado por el magma en el interior de la tierra y que llega a la superficie, como en las aguas termales. Con las cuales se puede generar vapor de agua para procesos como la generación de electricidad.

Por otro lado, también, es posible aprovechar el calor acumulado por la gran masa que forma el suelo.

1.3.1.1. Sistema de intercambiador de calor

Los intercambiadores aire-tierra utilizan el subsuelo para enfriamiento y calentamiento del caudal de aire que circula a través de tubos que se entierran en el subsuelo; contribuye a reducir la temperatura del aire que ingresa en el área deseada durante el verano y aumentándola durante el invierno. Su uso en acondicionamiento térmico se ha extendido en los últimos años, haciéndose particularmente útil en invernaderos, en los que en muchos casos permite un ahorro de más del 45 % de sus requerimientos energéticos y en edificios públicos (hoteles, escuelas).

Estos sistemas son utilizados para el acondicionamiento directo de la temperatura interior de las construcciones.

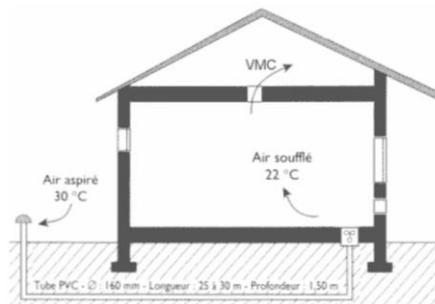
1.3.1.1.1. Intercambiador de calor aire-tierra

En origen, el pozo provenzal fue una canalización en piedra enterrada en el flanco de una colina que servía para canalizar por convección natural un flujo de aire que transitaba desde una boca externa a través de una conducción hacia la pieza principal de las construcciones tradicionales. En invierno, la tierra

recalienta este aire entrante mientras que en verano lo enfría gracias a la inercia térmica del suelo. Un sistema poco sofisticado y de baja eficiencia pero que en una edificación provenzal tradicional, donde la inercia térmica es elevada debido a la existencia de muros o paredes de gran espesor y pocas aberturas, el resultado es más que apreciable. El pozo provenzal es de hecho un intercambiador geotérmico que asegura la función de climatización estival o invernal del aire de ventilación. Este sistema es llamado también pozo canadiense en referencia a la función de precalentamiento invernal del aire de ventilación.

Los intercambiadores tierra-aire constan de uno o varios ductos enterrados a través de los cuales circula aire ambiente que se calienta o enfría a lo largo del ducto que luego es introducido a un área.

Figura 3. **Esquema intercambiador aire-tierra geo consultores**



Fuente: ESCUER SOLÉ, Joan. *Aerogeotermia: intercambiadores tierra-aire para reducir la demanda de energía de enfriamiento y renovación de aire*. p. 49.

- Temperatura de la tierra

Para realizar el cálculo, es necesario imponer la condición de borde temperatura superficial variable y periódica y la temperatura ambiental en el año. Baehr-Stephan propone para este caso, que la temperatura en la superficie de la tierra ($x=0$) en el año sigue la forma mostrada en la ecuación.

$$T_{superficial}(t) = T_m + (T_{max} - T_m) \cdot \cos\left(2\pi \frac{t}{t_0}\right)$$

Donde:

- $T_{superficial}$ = temperatura en la superficie de la tierra [°C].
- T_m = temperatura media anual del ambiente [°C].
- T_{max} = temperatura ambiental máxima anual en [°C].
- t = tiempo [s].
- t_0 = duración de un año [s] (1 año = $31,5 \times 10^6$ [s]).
- t/t_0 = fracción de año (con t/t_0 igual a cero para la máxima temperatura ambiental).

Finalmente, Baehr-Stephan propone como solución para la variación de temperatura del suelo, en función de la profundidad y del tiempo, un modelo de sólido semiinfinito y en las condiciones anteriormente descritas, la ecuación.

$$T(x,t) = T_m + (T_{max} - T_m) \cdot \exp^{-mx} \cos\left(2\pi \frac{t}{t_0} - mx\right)$$

Con:

$$m = \sqrt{\frac{\pi}{\alpha t_0}}$$

Donde:

- $T(x, t)$ = temperatura de la tierra en función de la profundidad y del tiempo [°C].
- x = profundidad [m].
- α = difusividad térmica [m²seg].

Con la solución para la temperatura de la tierra en función de la profundidad y del tiempo mostrada en la ecuación (2), se obtienen varias curvas de temperatura según el periodo, las cuales convergen (disminuyen su amplitud), a medida que aumenta la profundidad.

1.3.1.1.2. Modelo St. Benkert, F.D. Heidt, D. Schöler

Existen varios modelos para el diseño del intercambiador de calor aire-tierra, el utilizado en este trabajo será el modelo St. Benkert, F.D. Heidt, D. Schöler el cual es el siguiente.

Para determinar las temperaturas en la tubería del intercambiador de calor, los cálculos se basan en aproximaciones para las temperaturas de la tierra la cual varía con el tiempo y la profundidad. Los coeficientes de transferencias de calor para el flujo de calor entre el aire, el ducto y la tierra son

estimados de los coeficientes de materiales, propiedades del flujo y parámetros geométricos. Las siguientes restricciones se aplican para este método.

El intercambiador de calor está enterrado en tierra homogénea por lo que las propiedades son constantes.

Cuando se calcula más de un ducto en el intercambiador de calor, la interferencia entre diferentes ductos se asume que es despreciable.

- Temperatura de la Tierra

La temperatura en la pared de la tubería depende primeramente en la transferencia de calor de la tierra a otras capas más profundas; segundo, cuando el intercambiador de calor es usado, el aire en la tubería misma influencia la temperatura de la tierra en la pared del ducto.

Un parámetro llamado B es definido para medir la proporción de estos dos efectos tomando en cuenta la conductividad térmica de la tierra, el intercambiador de calor, coeficiente de transferencia de calor entre el flujo de aire y la tierra en la pared de la tubería así como la configuración geométrica.

$$B = 2\pi \frac{k_s}{U_L} \cdot \frac{1}{\ln \left(\frac{S_0}{R_0} + \sqrt{\left(\frac{S_0}{R_0} \right)^2 - 1} \right)}$$

Donde:

- B = razón de transferencia de calor, desde la superficie de la tierra al tubo y desde el flujo de aire, a la pared del tubo.
- k_s = conductividad térmica del suelo [W/(m K)].
- U_L = coeficiente de transferencia de calor por largo de pared del tubo, entre el aire y la pared del tubo.
- [W/(m K)].
- S_0 = profundidad de instalación del tubo [m].
- R_0 = radio del tubo en [m].

El valor B es simplemente una razón de transferencia de calor obtenida con las temperaturas involucradas (temperatura de la tierra a la profundidad de instalación $T_{E,0}$, temperatura de la tierra en la pared del tubo $T_{E,W}$ y temperatura del aire en el interior del tubo $T_{A,P}$). Esta razón es obtenida de un balance de calor, esto, entre el flujo de calor desde la tierra hacia la pared del tubo, o viceversa, con el flujo de calor desde la pared del tubo hacia el aire en su interior, o viceversa.

Este balance se muestra en la siguiente ecuación:

$$2\pi \cdot \frac{k_s}{\ln\left(\frac{S_0}{R_0} + \sqrt{\left(\frac{S_0}{R_0}\right)^2 - 1}\right)} \cdot (T_{E,0} - T_{E,W}) = U_L \cdot (T_{E,W} - T_{A,P})$$

Luego:

$$B = \frac{T_{E,W} - T_{A,P}}{T_{E,0} - T_{E,W}}$$

Donde:

- $T_{E,0}$ = temperatura de la tierra en la pared del tubo, no influenciada por él [°C].
- $T_{E,W}$ = temperatura de la tierra en la pared del tubo [°C].
- $T_{A,P}$ = temperatura del aire en el tubo [°C].

El valor B es ocupado como factor de corrección en la ecuación (7).

La temperatura de la tierra en la pared del tubo, pero no influenciada por este ($T_{E,0}$), es calculada con la temperatura media ambiental (T_m) y con la temperatura máxima ambiental (T_{max}), asumiendo una variación de temperatura sinusoidal a través del año. Además, es definido un parámetro adimensional (ξ), el cual describe la profundidad térmica del tubo. Esto se resume en la ecuación (5).

$$T_{E,0}(t) = T_m + (T_{max} - T_m) \cdot \exp^{-\xi} \cos\left(2\pi \frac{t}{t_0} - \xi\right) \quad (\text{Ec.5})$$

Donde:

- $T_{E,0}$ = temperatura de la tierra en la pared del tubo, no influenciada por él [°C].
- ξ = parámetro adimensional para la profundidad térmica del tubo.
- t = tiempo [s].
- t_0 = duración de un año [s] (1 año = $31,5 \times 10^6$ [s]).
- t/t_0 = fracción de año (con t/t_0 igual a cero para la máxima temperatura ambiental).

La ecuación (5), no es nada más que el modelo de Baehr-Stephan mostrado en la ecuación (2), evaluada a la profundidad del tubo.

Esto considerando:

$$\xi = x \cdot m ; \text{ profundidad } x = S_0 ; \text{ difusividad térmica } \alpha = \frac{k_s}{\rho \cdot c}$$

Donde:

- ρc = capacidad calórica volumétrica de la tierra [J/(m³K)]
- ρ = densidad del suelo [kg/m³]
- c = calor específico del suelo [J/(kg K)]

Con esto, la profundidad térmica ξ , en la cual se sitúa el intercambiador de calor tierra-aire, depende de la profundidad real en la cual se sitúa el intercambiador junto con las características térmicas del suelo sobre este.

Esto se muestra en la ecuación (6).

$$\xi = S_0 \sqrt{\frac{\pi \rho c}{t_0 k_s}}$$

Es necesario aplicar un factor de corrección para representar la influencia del tubo en la temperatura de la tierra en la pared del tubo. Esto se logra con el factor B definido en la ecuación (4). Luego, la temperatura corregida de la tierra en la pared del tubo $T_{E,W}$ esta definida por la ecuación (7).

$$T_{E,W} = \frac{B \cdot T_{E,0} + T_{A,P}}{B + 1}$$

Donde:

- $T_{E,W}$ = temperatura de la tierra en la pared del tubo [°C]
- $T_{A,P}$ = temperatura del aire en el tubo [°C]

Esto significa que $T_{E,W}$ es la media aritmética entre la temperatura de la circulación del aire dentro del tubo ($T_{A,P}$) y la temperatura de la tierra en la pared del tubo no influenciada por el tubo ($T_{E,0}$). Esto considerando la conductividad térmica del suelo y el coeficiente de transferencia de calor entre el flujo del aire y la tierra en la pared del tubo.

- Temperatura ambiente del aire

La temperatura del aire ambiente ($T_{A,0}$) determina la temperatura a la entrada del intercambiador de calor tierra-aire. Además, esta temperatura también se relaciona indirectamente con la temperatura de la tierra, debido a que es la condición de borde, ecuación (1), de la solución propuesta por Baehr-Stephan, para la variación de la temperatura de la tierra, ecuación (2).

$$T_{A,0}(t) = T_m + (T_{max} - T_m) \cdot \cos\left(2\pi \frac{t}{t_0}\right)$$

Donde:

- $T_{A,0}$ = temperatura ambiental en °C en el tiempo t en s

La ecuación (8) muestra un perfil de temperatura sinusoidal a través del año para la temperatura del aire ambiente ($T_{A,0}$).

- Transferencia de calor en el intercambiador de calor tierra-aire

Para calcular el intercambio de calor en el tubo, la longitud total del intercambiador se divide en segmentos iguales. Como los segmentos no varían, el intercambio de calor en el segmento produce un salto de temperatura entre dos segmentos. El intercambio de calor para cada segmento está definido por la ecuación (9).

$$\dot{Q}_W = \Delta z \cdot U_L \cdot (T_{E,W} - T_{A,P})$$

Donde:

- \dot{Q}_W = flujo de calor, a través de la pared del tubo al aire en este [w].
- Δz = LARGO del segmento [m].

El coeficiente del traspaso térmico por la longitud de la pared del tubo (U_L), para los tubos de los intercambiadores de calor de tierra-aire depende solamente del coeficiente de traspaso térmico (h_i) en su superficie interna. En la ecuación 10, se aprecia como se define el coeficiente de traspaso térmico por la longitud de la pared del tubo (U_L).

$$U_L = 2\pi R_0 h_i$$

Donde:

- h_i = coeficiente de transferencia de calor en la superficie interna del tubo [W/(m²K)].

El coeficiente de transferencia de calor en la superficie interna del tubo (h_i) depende de características del flujo, de las dimensiones del tubo y de las propiedades del aire en el tubo. Este coeficiente esta definido por la ecuación (11).

$$h_i = \frac{k_A Nu}{2 \cdot R_0} \quad (\text{Ec.11})$$

Donde:

- k_A = conductividad térmica del aire en el tubo [W/(m K)]
- Nu = número de Nusselt del aire en el tubo

El número de Nusselt (Nu) del aire en el tubo depende del número de Reynolds (Re) y, por ende, del caudal. Para la circulación de aire turbulento en la región de la relevante para los intercambiadores de calor tierra-aire, se propone la aproximación de la ecuación (12).

$$Nu = 0,0214 \cdot (Re^{0,8} - 100) \cdot Pr^{0,4}$$

Donde:

- Re = número de Reynolds del aire en el tubo
- Pr = número de Prandtl del aire (típicamente: $Pr = 0,72$)

- Temperatura del aire en el tubo

Ahora la temperatura del aire a través de la longitud total del intercambiador de calor tierra-aire, puede ser calculada. Al comenzar con una temperatura de entrada igual al aire ambiente, la temperatura irá variando gradualmente, es decir, segmento a segmento la temperatura del aire se ajustará según el flujo de calor en el segmento y la capacidad de calor del aire. Este paso está definido por la ecuación (13).

$$\dot{Q}_W = \dot{m}c_p ((T_{A,P})_{out} - (T_{A,P})_{in})$$

Donde:

- \dot{m} = flujo másico de aire [kg/s].
- c_p = calor específico del aire [J/(kg K)].
- $(T_{A,P})_{in}$ = temperatura del aire en el tubo a la entrada del segmento [°C].
- $(T_{A,P})_{out}$ = temperatura del aire en el tubo a la salida del segmento [°C].

Finalmente, la ecuación (13) se iguala con la ecuación (9). Con esto se despeja la temperatura al final del segmento ($T_{A,P}$). Esto, comenzando con la temperatura ambiental del aire a la entrada del segmento. Luego, se repite el procedimiento para el nuevo segmento, pero esta vez considerando como temperatura de entrada, la temperatura obtenida a la salida del tramo anterior. Así, se repetiría este procedimiento hasta llegar a una temperatura tan cercana como se desee de la temperatura del suelo, no influenciada por el tubo y a la profundidad de instalación del tubo. Con esto, se calcularía la cantidad de

segmentos utilizados y el calor transferido en cada tramo, con lo cual, se tendrá el tramo total de tubo y el calor total transferido.

1.3.2. Climatización

La climatización consiste en mejorar y llegar a las condiciones de temperatura, humedad y limpieza requeridas en la aplicación que se necesite. En los espacios habitados por personas se requiere tener el control de esas condiciones para llegar a tener comodidad y calidad en el ambiente.

La climatización comprende tres factores fundamentales: ventilación, calefacción, o climatización de invierno, y refrigeración o climatización de verano.

1.3.2.1. Confort térmico

El objetivo de los sistemas de acondicionamiento de aire es proporcionar un ambiente interior confortable, y para realizarlo se deben tener en cuenta diferentes factores de la comodidad.

- Pérdida de calor corporal: el cuerpo humano genera calor para metabolizar sus alimentos, este calor pasa a sus alrededores a un medio más frío. La velocidad de pérdida de calor corporal es el factor que determina si las personas sienten más calor o más frío.

Las formas por las cuales el cuerpo cede su calor al ambiente es por: convección, radiación y evaporación.

- Convección: el cuerpo cede su calor al aire que lo rodea, alejándose en forma natural por aire más frío, o por el movimiento de masa de aire.
- Radiación: el calor corporal se transmite por el espacio hacia otros objetos, así como objetos más calientes que el cuerpo humano puede irradiar su calor hacia este.

Como recomendaciones en verano e invierno están las siguientes:

- Verano
 - En los locales la temperatura de confort en verano puede oscilar entre 23 y 25 °C, dependiendo del nivel de actividad en el interior.
 - Para locales con personas sentadas, es suficiente 25 °C. Si las personas están de pie y paseando, tomar 24 °C. En locales con ejercicio físico, tomar 23 °C. No es recomendable situarse fuera de estos valores, pues temperaturas inferiores a 23 °C provocan resfriados, y las superiores a 25, sudoración.
- Invierno
 - La temperatura para la mayoría de actividades es de 21 °C, y la de los espacios no ocupados y de servicio, 17 °C. En hospitales, residencias y hoteles, 21 °C. Zonas con gran confort, 22 °C.

- No conviene superar los 22 °C, pues las personas tienden a abrir las ventanas por exceso de calor, y derrocharemos energía.

1.3.2.2. Equipos aire acondicionado domésticos

Hay unos equipos de aire acondicionado que se utilizan principalmente para climatizar viviendas, pequeños locales comerciales o simples despachos, habitaciones individuales, entre otros; se trata de equipos de fácil instalación y que no requieren la existencia de una central de aire acondicionado. Se llaman equipos de pequeña potencia, ya que suelen estar comprendidos entre 1 y 6 KW. Los equipos de mayor potencia se denominan de gama industrial o de gran potencia.

Otra clasificación muy utilizada es gama doméstica, llamada también residencial y los de gama comercial-industrial.

Clasificación según el tipo de equipo:

- Acondicionadores de ventana: se trata de una unidad compacta que se coloca en una ventana; la refrigeración del condensador se hace por medio del aire exterior, son de pequeño tamaño y descarga directa de aire frío.

Generalmente, se coloca una por habitación, aunque puedan colocarse varias unidades cuando se trate de superficies de gran tamaño.

- Consolas: son unidades con apariencia externa de armario. Pueden colocarse de pie en el suelo, o colgarse en la pared. Pueden ser refrigeradas por aire o por agua, el control es individual por unidad.
- Equipos partidos, divididos o *split*: está constituido por dos partes unidas mediante unas tuberías. Hay una parte exterior que comprende el compresor y el condensador llamada unidad condensadora y una parte interior que comprende el evaporador principalmente.
- Equipos portátiles: son equipos que tienen la particularidad de ser transportables de una habitación a otra.

1.3.2.2.1. Equipos *minisplit*

El equipo *minisplit* es un sistema *split* de menor tamaño que está conformado de 2 componentes: la unidad interior y la unidad exterior.

La unidad interior es la que se ubica en el lugar deseado a acondicionar. Hay diferentes tipos de esta unidad; varía principalmente en la forma de instalación.

- *Minisplit* pared alta: esta unidad se instala como su nombre lo indica en la parte superior de la pared.
- *Minisplit* piso techo: esta unidad se instala en el techo de la habitación o en la parte baja pudiéndose instalar en el piso.

1.3.2.3. Cargas de enfriamiento

Se le llama carga de enfriamiento a la cantidad de calor que se retira, y es importante calcularla porque es la base para seleccionar un equipo adecuado

La ganancia de calor es la velocidad en la que el recinto recibe calor en cualquier momento. Esta ganancia puede proceder de muchas fuentes (radiación, alumbrado, conducción y convección, personas, equipos, infiltración, entre otras.), que causa el efecto de almacenamiento de calor, en el cual el calor se absorbe y almacena tanto en la estructura como en los muebles.

Se pueden dividir estas ganancias de calor en dos:

- Ganancias de calor sensible: son las que ocasionan un aumento a la temperatura del aire, (conducción a través de las paredes, techos y vidrios del recinto; radiación solar y alumbrado).
- Ganancias de calor latente: son las que aumentan la humedad por la adicción de vapor de agua al sistema, (personas, maquinaria e infiltración de aire exterior).

“Al calor que entra como consecuencia de la diferencia de temperaturas se le llama calor sensible y el que entra como consecuencia de la diferencia de humedad se le llama calor latente”.¹

¹ ARGUETA, Lemus. *Acondicionamiento del ambiente en el salón de profesores de la escuela de mecánica de la facultad de ingeniería de la universidad de San Carlos de Guatemala*. p. 51.

- Carga sensible
 - Calor debido a la radiación solar a través de ventanas.
 - Debido a transmisión a través de paredes, techo, piso y vidrios exteriores e interiores.
 - Debido al aire de infiltraciones.
 - Generado por las personas que ocupan el lugar.
 - Generado por la iluminación de la sala.
 - Generado por aparatos eléctricos.

- Calor latente
 - Debido al aire de infiltraciones
 - Generado por las personas que ocupan el lugar

- Conducción a través de estructuras

Las ganancias de calor por conducción a través de paredes, techo y vidrios expuestos al exterior se calculan con la siguiente ecuación:

$$Q = U * A * \Delta t$$

Donde:

- Q = ganancia de calor del recinto por conducción. BTU/h
- U = coeficiente de transferencia de calor de materiales. BTU/(h*ft²* °F)
- A = área del techo, pared o vidrio. ft²
- Δt = diferencia de temperaturas para la carga de enfriamiento. °F

Los valores de U se encuentran en tablas específicas para techo, paredes o vidrios; y varían por las especificaciones del material.

- Radiación solar a través de vidrios

La energía radiante del sol pasa a través de materiales transparentes y se transforma en ganancia de calor para el ambiente. Depende de la hora, orientación, existencia de alero y el efecto de almacenamiento.

La fórmula para calcular esta ganancia de calor es:

$$Q = FGCS * A * CS * FCE$$

Donde:

- Q = ganancia por radiación a través del vidrio BTU/h
- FGCS = factor de ganancia máxima de calor solar BTU/ (h* ft²)
- A = área del vidrio ft²
- CS = coeficiente de sombreado
- FCE = factor de carga de enfriamiento para el vidrio

Los valores de FGCS, CS y FCE se encuentran en tablas en la sección de anexos que, por latitud, coeficiente de sombreado y factor de carga de enfriamiento son indicados.

- Alumbrado

La fórmula para calcular la ganancia de calor generada por el alumbrado es:

$$Q = 3,4 * W * FB * FCE$$

Donde:

- Q = ganancia de calor por alumbrado, BTU/h
- W = capacidad de alumbrado, W
- FB = factor de balastro
- FCE = factor de carga de enfriamiento para alumbrado

La capacidad de alumbrado que se utiliza es watts (W), pero se necesita hacer la conversión a BTU/h para la ecuación; $1 \text{ BTU/h} = 3,4 * W$.

El factor de balastro se utiliza para unidades fluorescentes, ya que ellas generan calor adicional (1,25); cuando el alumbrado es incandescente no existe generación de calor adicional y el factor es de 1.

- Personas

“Debido a que las personas son fuente de calor, se consideran como una ganancia de calor sensible, pero debido a la transpiración, también se deben de considerar como ganancia de calor latente. Las fórmulas para calcular las ganancias de calor sensible y latente de las personas son”.²

$$Q_s = q_s * n * FCE$$

$$Q_L = q_L * n$$

² ARGUETA, Lemus. *Acondicionamiento del ambiente en el salón de profesores de la escuela de mecánica de la facultad de ingeniería de la universidad de San Carlos de Guatemala*. p. 51.

Donde:

- Q_s = ganancia de calor sensible
- Q_L = ganancia de calor latente
- q_s = calor sensible por persona
- q_L = calor latente por persona
- n = número de personas
- FCE = factor de carga de enfriamiento para las personas

Las ganancias de calor sensible y calor latente varían de la actividad realizada, para lo cual existen tablas.

- Aparatos electrodomésticos

La ganancia de calor generada por equipos se calcula con los datos de placa, tomando en consideración el tiempo de uso. Si el fabricante no incluye la información del calor generado por el equipo, se debe encontrar los vatios consumidos por hora y utilizar la siguiente ecuación:

$$Q = 3,4 * W$$

Donde:

- Q = ganancia de calor por equipo, BTU/h
- W = capacidad de alumbrado, W

- Ventilación

Se debe tener una toma de aire fresco en la circulación de aire por razones de salud y de confort. El aire exterior posee un calor latente y calor sensible mayor que el del recinto, por lo que se considera en la carga de calor. Las ecuaciones que se utilizarán para calcular esta ganancia de calor son las ecuaciones 1,4 y 1,8:

$$Q_s = 1,1 * CFM * \Delta t$$
$$Q_L = 0,68 * CFM * (W_2 - W_1)$$

Donde:

- Q_s = carga de calor sensible por la ventilación, BTU/h
- Q_L = carga de calor latente por la ventilación, BTU/h
- CFM = flujo de aire de ventilación, ft³/min
- Δt = diferencia de temperatura entre aire exterior e interior, °F
- $W_2 - W_1$ = relación de humedad interior e interior, g_{agua} / lb_{aire}³

³ ARGUETA, Lemus. *Acondicionamiento del ambiente en el salón de profesores de la escuela de mecánica de la facultad de ingeniería de la universidad de San Carlos de Guatemala*. p. 53.

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

2.1. Consumo energético en la climatización

La necesidad o el deseo de tener una menor temperatura comparada con la del ambiente requiere la utilización y el consumo de energía eléctrica. Dependiendo del tamaño del sistema utilizado y sus exigencias será el consumo de energía que se requerirá para llegar a la temperatura deseada.

Hay que tener en cuenta que en esta aplicación el sistema solo será en un área de la casa, por lo que solo se utilizará cuando estén personas presentes. Debido a esto se tomará un promedio diario de uso para realizar los cálculos el cual será de 4 horas.

2.2. Climatización eficiente

Gran parte del objetivo de este sistema es buscar el ahorro energético en un método de climatización. Este sistema presenta un mayor ahorro cuando se es considerada su instalación al momento de la construcción de la vivienda; esto debido a que gran parte de la instalación será aprovechada en la construcción.

2.3. Ahorro energético

Gran parte de los beneficios que se tienen con estos sistemas de climatización utilizando un intercambiador de calor aire-tierra es el bajo consumo energético que tiene comparado con sistemas de climatización como

los sistemas de aire acondicionado; esto debido a que el intercambiador de calor aire-tierra comúnmente solo tiene como consumo energético el ventilador que se encargará de introducir el aire por el intercambiador de calor y llevarlo al salón a climatizar.

2.4. Sistema utilizando, equipo de A/C mecánico

Se realizarán los cálculos para el área de sala de estar, que se utilizará para una cantidad de 8 personas.

2.4.1. Cálculo de cargas

Para realizar el cálculo de las cargas de enfriamiento es necesario definir las condiciones exteriores y las condiciones deseadas en el interior.

- Condiciones exteriores de diseño
 - Temperatura de Bulbo Seco: 29 °C [84.2 °F]
 - Temperatura de Bulbo Húmedo: 21 °C [70 °F]

- Condiciones interiores de diseño
 - Temperatura de bulbo seco: 23,3 °C [74 °F]
 - Temperatura de bulbo húmedo: 16,67 °C [62 °F]
 - Humedad relativa: 50 %

2.4.1.1. Cargas de enfriamiento

Las cargas de enfriamiento que se deben calcular se dividen en cargas sensibles y en cargas latentes.

2.4.1.2. Cargas sensibles

Las cargas sensibles son aquellas que generan un cambio de temperatura al aire y se deben de considerar para el diseño del sistema.

2.4.1.2.1. Calor debido a radiación solar a través de ventanas

- Carga sensible

Calor debido a la radiación solar a través de ventanas.

- Ventana en pared 3 (dirección sur)
 - Latitud= 40
 - Hora 3PM
 - Orientación= sur

 - Altura: 1,20m (3,94ft)
 - Base: 1,00m (3,28ft)
 - Area ventana = 12,92 ft²
 - Factor tabla= 98
 - Factor tabla= 1
 - $Q_s = A \cdot U \cdot DT$

- $= (12,92) \cdot (98) \cdot (1)$
- $Q_s = 1\,266,17 \text{ BTU/h}$

2.4.1.2.2. Calor debido a la transmisión a través de paredes, techo, piso y vidrios

- Paredes

- Pared 1 (orientada al norte)

- Altura: 2,50m (8,2ft)
- Base: 4,07m (13,35ft)
- Área pared 1= $10,175 \text{ m}^2$ ($109,47 \text{ ft}^2$)
- $U = \text{tabla 4} = 0,30$
- Q_s (área sombra) = área sombra x U x DT
- $DT = \text{tabla 6} - ((20 - (\text{TBS exterior} - \text{TBS interior}))$
- $DT = \text{construcción liviana, 3PM Norte, interior} = 20$
- $DT = 20 - (20 - 10,2) = 10,2$
- $Q_s = A \cdot U \cdot DT$
- $= (109,47) \cdot (0,30) \cdot (10,2)$
- $Q_s = 334,98 \text{ BTU/h}$

- Pared 2 (orientada al este)

- Altura: 2,50m (8,2ft)
- Base: 5,11m (16,76ft)
- Área pared 2= $12,775 \text{ m}^2$ ($137,43 \text{ ft}^2$)
- $U = 0,30$
- Q_s (área sombra) = área sombra x U x DT

- $DT = \text{tabla 6} - ((20 - (\text{TBS exterior} - \text{TBS interior}))$
- $DT = \text{construcción liviana, 3PM Este, interior} = 29$
- $DT = 29 - (20 - 10,2) = 19,2$
- $Q_s = A \cdot U \cdot DT$
- $= (137,43) \cdot (0,30) \cdot (19,2)$
- $Q_s = 791,6 \text{ BTU/h}$

- Pared 3 (orientada al sur)
 - Altura: 2,50m (8,2ft)
 - Base: 4,07m (13,35ft)
 - Área pared 2= 10,175 m² (109,47ft²)
 - $U = 0,30$
 - $Q_s (\text{área soleada}) = \text{área soleada} \times U \times DT$
 - $DT = \text{tabla 6} - ((20 - (\text{TBS exterior} - \text{TBS interior}))$
 - $DT = \text{construcción liviana, 3PM Sur, interior} = 21$
 - $DT = 21 - (20 - 10,2) = 11,2$
 - $Q_s = A \cdot U \cdot DT$
 - $= (109,47) \cdot (0,30) \cdot (11,2)$
 - $Q_s = 367,82 \text{ BTU/h}$

- Pared 4 (orientada al oeste)
 - Altura: 2,50m (8,2ft)
 - Base: 5,11m (16,76ft)
 - Área pared 2= 12,775 m² (137,43ft²)
 - $U = 0,30$
 - $Q_s (\text{área sombra}) = \text{área sombra} \times U \times DT$
 - $DT = \text{tabla 6} - ((20 - (\text{TBS exterior} - \text{TBS interior}))$
 - $DT = \text{construcción liviana, 3PM oeste, interior} = 34$

- $DT = 34 - (20 - 10,2) = 24,2$
- $Q_s = A \cdot U \cdot DT$
- $= (137,43) \cdot (0,30) \cdot (24,2)$
- $Q_s = 997,74 \text{ BTU/h}$

- Piso
 - Ancho 13,35 ft
 - Largo 16,76 ft
 - $\text{Área} = (13,35 \text{ ft})(16,76 \text{ ft})$
 - $A = 223,75 \text{ ft}^2$
 - $U = \text{losa de concreto contra el suelo sin aislamiento} = 0$
 - $Q_s = A \cdot U \cdot DT$
 - $Q_s = 0 \text{ BTU/h}$

- Techo
 - Material= acero sin aislamiento
 - $\text{Área techo} = (13,35 \text{ ft})(16,76 \text{ ft})$
 - $A = 223,75 \text{ ft}^2$
 - $U = \text{tabla 4, acero sin aislamiento, verano} = 0,64$
 - $Q_s (\text{área soleada}) = \text{área soleada} \times U \times DT$
 - $DT = \text{tabla 6} - ((20 - (\text{TBS exterior} - \text{TBS interior}))$
 - $DT = \text{cubierta de acero, 3pm} = 50$
 - $DT = 50 - (20 - 10,2) = 40,2$
 - $Q_s = A \cdot U \cdot DT$
 - $= (223,75) \cdot (0,64) \cdot (40,2)$
 - $Q_s = 5\,756,64 \text{ BTU/h}$

- Vidrios
 - Ventana pared 3
 - Altura: 1,20m (3,94ft)
 - Base: 1,00m (3,28ft)
 - Área ventana = 1,2 m² (12,92 ft²)
 - U= tabla 5 = 1,06
 - $Q_s = A \cdot U \cdot DT$
 - = (12,92)*(1,06)*(10,2)
 - $Q_s = 139,69 \text{ BTU/h}$

2.4.1.2.3. Calor sensible debido al aire de infiltraciones

- Calor sensible debido al aire de infiltraciones
 - $Q_s = 1,1 \cdot CFM \cdot DT$.
 - $DT = 10,2$.
 - $CFM = C_{fma} + C_{fmb}$.
 - $C_{fma} = (H \cdot L \cdot W \cdot \text{factor tabla 8}) / 60$.
 - Factor tabla 8, salón de recepción, protección ordinaria = 1,20.
 - $C_{fm} = (13,35 \cdot 16,76 \cdot 8,2 \cdot 1,20) / 60$.
 - $C_{fma} = 36,70$.
 - $C_{fmb} = \text{tabla 9}$.
 - Trafico de personas = No. Personas/h para cada puerta.
 - TR= aproximadamente 10 personas en una hora por la única puerta, $DT = 10$.
 - $C_{fmb} = 4$.

- $CFM = 36,70+4.$
- $CFM= 40,70.$
- $Qs= 1,1*40,70*10,2.$
- $Qs= 456,65 \text{ BTU/h.}$

2.4.1.2.4. Calor sensible generado por las personas

Calor sensible generado por las personas que ocupan el lugar.

- $Qs= \text{factor tabla 10} * \text{número de personas}$
- $\text{Factor tabla 10} = \text{actividad, sentadas descansando} = 225 \text{ BTU/h}$
- $\text{Número de personas} = 8$
- $Qs= 225 * 8$
- $Qs= 1\ 800 \text{ BTU/h}$

2.4.1.2.5. Calor generado por la iluminación

- Calor generado por la iluminación de la sala

Se tienen 4 tubos de iluminación fluorescente de 60 W cada uno según el manual de Carrier; el calor generado por cada luminaria fluorescente se obtiene aplicando la ecuación 16 donde $FCE=1$ y el $FB=3,4$.

- $Q= W*1.25*3,4$
- $Qs= 60*1.25*3,4$
- $Qs=255 \text{ BTU/h} * 4 \text{ tubos}$
- $Qs= 1\ 020 \text{ BTU/h}$

2.4.1.2.6. Calor generado por aparatos eléctricos

- Calor generado por aparatos eléctricos

Los aparatos que se tendrán en la sala son los siguientes:

- 1 laptop de 130 W de potencia
 - 1 televisor de 72 W
 - 1 equipo de sonido de 340 W
-
- Laptop
 - $Q_s = \text{cantidad de aparatos} * W * \text{factor}$
 - $Q_s = 1 * 130 * 3,14$
 - $Q_s = 408,2 \text{ BTU/h}$
-
- Televisor
 - $Q_s = \text{cantidad de aparatos} * W * \text{factor}$
 - $Q_s = 1 * 72 * 3,14$
 - $Q_s = 226,08 \text{ BTU/h}$
-
- Equipo de sonido
 - $Q_s = \text{cantidad de aparatos} * W * \text{factor}$
 - $Q_s = 1 * 800 * 3,14$
 - $Q_s = 1067,6 \text{ BTU/h}$

2.4.1.3. Cargas latentes

Las cargas latentes son aquellas que generan un cambio de temperatura al aire y se deben de considerar para el diseño del sistema.

2.4.1.3.1. Calor latente debido al aire de infiltraciones

- Calor latente

Calor latente debido al aire de infiltraciones

Factor tabla de deshumidificación (80 F)

- $QI \text{ infiltración} = \text{CFM total} \times \text{factor tabla deshumidificación} / 100$
- $QI \text{ infiltración} = (40,70 \times 765) / 100$
- $QI \text{ infiltración} = 311,35 \text{ BTU/h}$

2.4.1.3.2. Calor latente generado por personas

- Calor latente generado por las personas que ocupan el lugar
 - $QI \text{ personas} = \text{número de personas} \times \text{factor tabla 11}$
 - $QI \text{ personas} = 8 \times 110$
 - $QI \text{ personas} = 880 \text{ BTU/h}$

2.4.1.4. Calor total

- Calor total
 - $Q_{total} = Q_{s_{total}} + Q_{l_{total}}$.
 - $Q_s \text{ total} = 1\,266,17 + 334,98 + 791,6 + 367,82 + 997,74 + 5\,756,64 + 139,69 + 456,65 + 1\,800 + 1\,020 + 408,2 + 226,08 + 1\,067,6$.
 - $Q_s \text{ total} = 14\,633,17 \text{ BTU/h}$.
 - $Q_l \text{ total} = 311,35 + 880$.
 - $Q_l \text{ total} = 1\,191,35 \text{ BTU/h}$.
 - $Q_{Total} = 14\,633,17 + 1\,191,35$.
 - $Q_{Total} = 15\,824,92 \text{ BTU/h}$.

Según el manual de Carrier, se le debe agregar un 20 % más como factor de seguridad.

- $Q_{total} = 18\,989,504 \text{ BTU/h}$

2.4.2. Selección de equipo

Convertirlo a tonelada de refrigeración:

$$(1 \text{ tonelada}) \times (18989.504 \text{ BTU/HR}) / (12000 \text{ BTU/HR}) = 1.58 \text{ TR}$$

Como la disponibilidad es de 1.5 TR o 2TR se seleccionará el superior que es el de 2 toneladas de refrigeración.

El equipo seleccionado es un equipo *minisplit* de 2 toneladas de la marca Carrier modelo 53FXC243A.

- Alimentación eléctrica = 220V
- Capacidad = 24000 BTU/H
- Corriente nominal =10.7 amperios
- Fuente folleto de carrier

2.5. Sistema utilizando intercambiador aire-tierra

En este sistema el único aparato que consume energía eléctrica es el ventilador que se utilizara para introducir el aire del ambiente que pasa por el intercambiador y llega a la vivienda.

2.5.1. Selección de equipo

Debido a que por la aplicación se seleccionaron 8 renovaciones del volumen de la sala por hora, el volumen de la sala es de 52 m^3 , el caudal de aire que se necesita utilizando la ecuación de caudal que involucra el volumen dividido el tiempo da como resultado un caudal de $416 \text{ m}^3/\text{h}$ (245 CFM).

Con el dato del caudal obtenido, este será el que servirá para seleccionar el ventilador necesario para la aplicación del intercambiador de calor.

Debido a las características de esta aplicación que solo es para una sala de la vivienda y la disponibilidad del producto el ventilador seleccionado y distribuido por Frioaire Internacional es el modelo DB8-SELLO, marca SUPCO con las características siguientes:

Figura 4. **Ventilador DB8-SELLO**



Fuente: Frioaire Internacional. *Modelo DB8-SELLO*. www.Frioaire.com/DB8/. Consulta: 15 de enero de 2019.

- **Especificaciones**
 - Voltaje: 120 V
 - Clasificación de amperaje: 0,75 amp
 - Potencia nominal: 60 vatios
 - RPM: 1 750 rpm
 - Capacidad de flujo de aire: 250 cfm impulsado
 - Nombre de la marca: Supco
 - Tamaño del conducto: 8 pulgadas

2.5.2. Comparación energética

Para realizar la comparación energética se asumirá un tiempo de uso de ambos equipos para el periodo en la cual se estará utilizando la sala

climatizada. Estos datos son basados en el uso que le dará el cliente a esta casa. Este tiempo se tomará como un promedio de 4 horas diarias.

El precio de la energía del distribuidor DEORSA varía trimestralmente; para ejemplo se tomará un promedio y se tomará como 2,14 Q/KWh.

2.5.2.1. Sistema utilizando A/C

Las características del equipo de aire acondicionado seleccionado son las siguientes:

Figura 5. Imagen Equipo marca Carrier MiniSplit



Fuente: Carrier. *Minisplit*. www.carrier.com/equipos-Minisplit/. Consulta: 20 de enero de 2019.

- Alimentación eléctrica = 220 V
- Capacidad = 24 000 BTU/H
- Corriente nominal =10,7 amperios
- Potencia= 2,354 KW
- Consumo= 9,42 KWh diarios
- Consumo= 3 436,84 KWh al año
- Costo = Q7 354,83 anuales

2.5.2.2. Sistema utilizando intercambiador de calor aire-tierra

Basados en las características de la aplicación, se calculará el consumo por 4 horas diarias y se realizará el cálculo para el consumo y los gastos que se generarán anualmente por la utilización del ventilador según sus características.

- Potencia= 0,060 KW
- Consumo energético diario = 024 KWh
- Consumo energético anual = 87,6. KWh Al
- Costo energético= Q187,46 anuales

2.5.2.3. Comparación energética

Como se observa se realizaron los cálculos del consumo eléctrico que cada sistema estaría consumiendo en un año; fue utilizado un promedio de 4 horas diarias.

Los resultados son en beneficio al sistema de intercambiador de calor aire-tierra, ya que con este sistema solo se gastarían Q187,46 anuales de energía eléctrica y con un sistema de aire acondicionado se gastarían Q 7 354,83 anuales de energía eléctrica.

3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

3.1. Climatización utilizando energía geotérmica

El aprovechar y utilizar el calor interior de la tierra para intercambiarlo con el aire utilizado en un sistema de climatización es beneficioso para ahorrar energía eléctrica; este proceso no es dañino para el medio ambiente y es un recurso renovable.

El aprovechamiento de la energía geotérmica es más beneficioso en el verano ya que el subsuelo tendrá temperaturas menores que las del exterior; es más eficiente el uso del intercambiador de calor aire-tierra en la climatización.

3.2. Análisis de terreno y construcción

Para diseñar correctamente el intercambiador de calor aire-tierra se deben tomar en consideración varios factores, entre ellos está el terreno y la construcción en la cual se desea instalar el sistema.

3.2.1. Terreno

El terreno en el cual se desea analizar la aplicación de este sistema es peculiar ya que se encuentra un río en sus cercanías; por experiencia de los propietarios, al realizar una excavación se determinó que a partir de los 4 metros de profundidad se encuentra agua; por lo tanto, se tomó la decisión de no realizar la excavación a una profundidad mayor a 3 metros para evitar esa situación.

Debido a esta característica el suelo es considerado un suelo húmedo; los datos de conductividad térmica (k) y difusividad térmica (α) están en la siguiente tabla.

Tabla I. **Características del suelo**

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Rocoso</i>	<i>Húmedo y compacto</i>	<i>Seco y compacto</i>	<i>Húmedo y liviano</i>	<i>Seco y liviano</i>
k ($W/m^{\circ}C$)	2.4	2.4	1.3	0.87	0.87	0.35
α (m^2/s)	1.02×10^{-6}	1.02×10^{-6}	0.64×10^{-6}	0.52×10^{-6}	0.52×10^{-6}	0.29×10^{-6}

Fuente: FLORES LARSEN, S.; LESINO, G. Intercambiadores *tierra-aire: uso del suelo para enfriamiento pasivo*. p. 54.

3.2.2. Construcción

La instalación del sistema del intercambiador de calor se realiza al mismo tiempo que la construcción de la vivienda con el objetivo de ahorrar costos de instalación. De esta forma no se tienen problemas de obstrucciones con sistemas de drenajes, cableado eléctrico o la necesidad de demoler ciertas partes, si ya hay alguna construcción en el lugar deseado de instalación.

La construcción será una vivienda familiar con 2 dormitorios, una cocina, un comedor y una sala de estar la cual es la que se desea ambientar con este sistema.

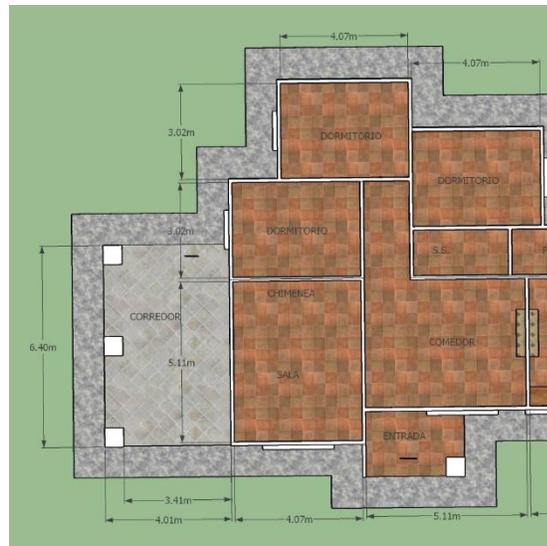
La sala está pensada para tener un máximo de 8 personas; además, se pretende utilizar el sistema de climatización en un promedio de 4 horas diarias.

Figura 6. **Imagen 3D de la vivienda**



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Medidas de la vivienda**



Fuente: elaboración propia.

3.3. Diseño de un intercambiador aire-tierra

Previo a empezar con el diseño de un intercambiador aire-tierra hay que tener ciertos datos y características.

3.3.1. Temperatura

La temperatura exterior varía en el año; sin embargo, se tomará el valor máximo para garantizar el funcionamiento en esas condiciones.

3.3.1.1. Exterior

Según los datos obtenidos por medio de Accuweather.com, la temperatura promedio máximo que se utilizará para los cálculos de este proyecto será de 30 grados centígrados; se utilizará esta máxima temperatura para garantizar que el sistema funcionará cuando se tengan estas condiciones. Para la temperatura media se usarán 20 grados centígrados.

3.3.1.2. Subsuelo

La temperatura del subsuelo es muy importante para esta aplicación ya que con esta es la que se hará el intercambio de calor con el aire exterior, esta depende del tipo de suelo y la profundidad a la que se tenga el sistema.

Los cálculos se basan en aproximaciones para las temperaturas de la tierra la cual varía con el tiempo y la profundidad.

Para efectos prácticos se realizó una excavación para encontrar la temperatura en ese punto y confirmar que es menor a la del aire exterior.

Figura 8. Imagen del terreno



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Imagen de la excavación



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Imagen de la profundidad de la excavación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Imagen de la medición de la temperatura en la excavación**



Fuente: elaboración propia.

La temperatura obtenida en el fondo de la excavación fue de 69 grados Fahrenheit (20 grados centigrados).

Como se observa en las imágenes, la temperatura en el subsuelo es menor a la exterior. Para determinar las temperaturas en la tubería del intercambiador de calor, para el diseño, los cálculos se basan en aproximaciones, para la temperatura de la tierra, la cual varía con el tiempo y la profundidad.

3.3.2. Punto de captación de aire

Este es el punto donde el sistema toma el aire del exterior. Esta toma se deberá situar ligeramente en alto (1 m o 1,5 m) para evitar la captación de aire contaminado. Por esta misma razón se eligen también áreas de captación donde el aire se mantenga en movimiento; se evitan las hondonadas donde el aire queda estancado.

3.3.3. Filtros

Los filtros servirán primordialmente para evitar la entrada de polvo, suciedad e insectos a la tubería y al sistema; se puede utilizar cualquier tipo de filtro que cumpla con esa función básica. Se recomiendan los filtros clase M según la norma EN 779:2012.

3.3.4. Tubería intercambiador de calor

Para la tubería es recomendable utilizar PVC; según las condiciones a las cuales estará situado el sistema debajo de la tierra, a 3 metros de profundidad, es necesario utilizar tubería que resista esas condiciones y que sea de superficie interior lisa para ayudar al flujo de aire.

Durman ofrece una tubería llamada TDP, tubería de doble pared, la cual es una tubería que en su exterior es corrugada, que proporciona la resistencia necesaria para aguantar las condiciones de instalación; su interior es de acabado liso para beneficiar el flujo de aire.

- Características
 - Fácil instalación.
 - Químicamente inerte.
 - No produce olores ni sabores.
 - Libres de plomo.
 - Resistente a abrasión, rayado y punzonamiento.
 - Externamente corrugada e internamente lisa.
 - Alta rigidez, soporta instalaciones a profundidades mayores a 10 metros.

- Ventajas
 - Sistema de muy alta resistencia estructural.
 - Excelente desempeño hidráulico dado que la acumulación de sólidos es virtualmente nula gracias a una línea interna perfectamente lisa.
 - No hay generación de colonias bacterias: las tuberías con interior corrugado permiten la formación de bacterias.

3.3.5. Punto de drenaje

El agua condensada en las tuberías, debido a la inclinación, se dirige al punto de drenaje donde se elimina del sistema.

3.3.6. Elemento de circulación de aire

Para la circulación del aire en el sistema de intercambiador de calor y que llegue al salón deseado de climatizar se debe tener un sistema que proporcione ese movimiento de aire deseado.

Hay varios sistemas de ventilación básicos en el ámbito residencial, clasificados de la siguiente manera:

- Ventilación natural (tiro natural)
 - Entrada natural y extracción natural

- Ventilación mecánica
 - Entrada mecánica y extracción natural.
 - Entrada natural y extracción mecánica.
 - Entrada mecánica y extracción mecánica.
 - Sistemas combinados (en la práctica existe la posibilidad de buscar la mejor solución para un proyecto haciendo combinaciones de los distintos sistemas, que pueden ser perfectamente válidas)⁴.

⁴ *Ventilación natural*. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/ventilacion-natural/>. Consulta: 22 de enero de 2019.

3.3.6.1. Natural

- Ventilación natural (tiro natural): entrada natural y extracción natural.

En los sistemas de ventilación natural sin ventiladores, la renovación del aire se produce exclusivamente por la acción del viento o por la existencia de un gradiente de temperaturas entre el punto de entrada y el de salida.

Es importante tomar en cuenta que con este sistema no se garantizan los caudales mínimos de ventilación.

3.3.6.2. Forzada

Existen diferentes tipos de ventilación forzada o mecánica; sin embargo, la que se utilizará en esta aplicación será la ventilación mecánica con entrada mecánica y extracción natural por su economía y sus beneficios al sistema de intercambiador de calor aire y tierra.

3.3.6.2.1. Ventilación mecánica: entrada mecánica y extracción natural

“En este sistema de ventilación la admisión de aire se realiza de forma mecánica por medio de un ventilador a través de conductos, mientras que la extracción se produce de forma natural por rejillas o ventanas.”⁵

⁵ *Ventilación natural.* <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/ventilacion-natural/>. Consulta: 22 de enero de 2019.

- Ventajas:
 - Se puede controlar mejor la admisión de aire
 - Se puede filtrar el aire exterior
 - Se puede evitar la entrada de ruido de la calle
 - Se puede aplicar algún control bajo demanda

3.3.6.2.2. Ventilación mecánica: entrada natural y extracción mecánica

En este sistema la admisión de aire se realiza a través de rejillas situadas en las fachadas de las paredes del comedor, las salas de estar y los dormitorios; la extracción del aire se hace por medio de un extractor conectado con conductos a las zonas húmedas (baños, aseos y cocina), por donde se expulsa el aire viciado al exterior.

- Ventajas
 - Es un sistema bastante sencillo.
 - Gracias a la extracción forzada, los caudales necesarios están garantizados.
 - Requiere un mínimo mantenimiento.

- Desventajas
 - Se tienen que calcular y equilibrar bien conductos y bocas para evitar un nivel sonoro molesto.

- Con viento contra la fachada genera malestar y un caudal excesivo que aumenta el consumo energético.
- Se producen molestias en invierno debido a corrientes de aire por diferencias de temperatura.

Debido a las exigencias actuales en materia de ahorro energético y calidad de aire interior, este sistema ha evolucionado con nuevos sistemas de control y se han instalado:

- Rejillas de admisión pasivas autorregulables: permiten obtener caudales constantes de ventilación, independientemente de la presión del viento en la fachada.
- Rejillas de admisión activas higrorregulables: limitan el exceso de ventilación por la presión del viento en la fachada y, equipadas con un sensor de humedad, ajustan el caudal de ventilación según la contaminación higrométrica.

3.3.6.2.3. Ventilación mecánica: entrada mecánica y extracción mecánica

En este sistema tanto la admisión como la extracción de aire son mecánicas, por lo que los caudales de ventilación quedan garantizados.

Existen en el mercado varias versiones:

- Admisión mecánica centralizada y extracción mecánica centralizada. En este sistema la admisión de aire y la extracción se centralizan en un punto y se utiliza una red de conductos por toda la vivienda que recibe el nombre de sistema de doble flujo.
- “Admisión mecánica descentralizada y extracción mecánica descentralizada. Este sistema se denomina habitualmente *single-room*, pues se instala en la pared exterior de cada local una unidad de ventilación compuesta por un ventilador de admisión y otro de extracción”.⁶

3.4. Diseño de sistema con el uso de intercambiador de calor aire-tierra

Para iniciar con el diseño del intercambiador aire-tierra se tienen que definir ciertos datos.

- Datos
 - Volumen de aire a renovar: el volumen a renovar será 8 veces el volumen de la sala por hora.
 - Diámetro del tubo: el diámetro es un dato de entrada para el modelo. Esto se debe principalmente a que, para este tipo de

⁶ *Ventilación natural*. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/ventilacion-natural/>. Consulta: 22 de enero de 2019.

aplicaciones, el rango de diámetros de los tubos disponibles en el mercado es limitado. Para esta aplicación, se utilizarán tubos de 0,2[m] de diámetro por razones de precio, disponibilidad y tamaño.

- Profundidad de instalación: esta profundidad está limitada en este caso debido a que en la cercanía hay con un río y a una profundidad de 4 metros ya hay riesgo de encontrar agua, por lo que se instalará a una profundidad de 3 metros.
- Conductividad térmica del suelo (k_s): $k_s = 2,000[\text{W/mK}]$.
- Capacidad calórica volumétrica ($r \cdot c_p$): $r \cdot c_p = 2,500[\text{W/mK}]$.

Con los datos definidos se puede empezar a encontrar la velocidad del aire a la cual estará pasando en el intercambiador de calor; esta se obtiene con los datos de renovación de aire para obtener el caudal, se despeja la velocidad y se obtiene que la velocidad es de 3,67 m/s.

La velocidad se utiliza para encontrar el número de Reynolds con las características del aire a temperatura media.

Con estos datos se pueden obtener los resultados de las ecuaciones 12 y 11 para encontrar el coeficiente de traspaso térmico con la ecuación 10 como resultado:

$$U_L: 7,95 \text{ W/m K}$$

Con el coeficiente de traspaso térmico se puede obtener el parámetro de la razón de transferencia de calor B en la ecuación 4.

$$B: 0,5$$

Ahora se puede calcular la temperatura de la tierra en la pared del tubo, no influenciada por el $T_{E,0}$ con la ecuación 5. Como se está diseñando para la temperatura máxima ambiental, se sigue el modelo que indica que t/t_0 es cero para la temperatura máxima.

$$T_{E,0} : 22 \text{ }^\circ\text{C}$$

Encontrada la temperatura de la tierra en la pared del tubo no influenciada por esta, se procede a encontrar la temperatura de la tierra en la pared del tubo $T_{E,W}$ con la ecuación 7.

$$T_{E,W}: 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

Luego, se tiene $T_{E,W}$ a la entrada del tramo para encontrar el largo del intercambiador se debe definir una longitud de tramo Δz para hacer los cálculos tramo por tramo; se tomará como:

$$\Delta z: 0,1 \text{ m.}$$

Con la ecuación 9 y la ecuación 13 se puede calcular el flujo de calor, para encontrar la temperatura de salida de un tramo (la cual será la temperatura de entrada del siguiente tramo). Se deben igualar estas dos ecuaciones, entonces, se despeja $(T_{A,P})_{out}$.

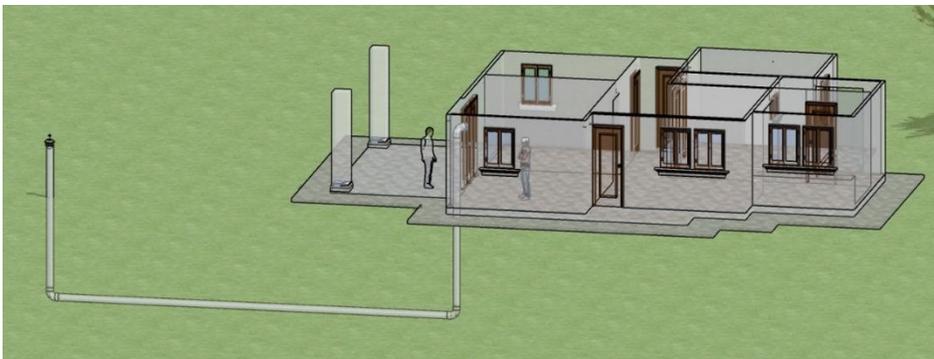
Al encontrar $(T_{A,P})_{out}$ se obtiene la temperatura de entrada del siguiente tramo y se deberá seguir este procedimiento tramo por tramo hasta llegar a una

($T_{A,P}$)out lo más cercana posible a la temperatura que se desea que salga del intercambiador.

Al realizar las iteraciones correspondientes se obtiene que el intercambiador necesita una longitud de 10 m. sin embargo, solo se venden tramos de 6 metros, por lo que se instalará con longitud de 12 metros para evitar cortar tubería.

El intercambiador de calor aire-tierra quedaría con una longitud total de 12 metros; se tiene la opción de hacerlos lineal o en forma de serpentín dependiente del espacio disponible y el diseño de la vivienda.

Figura 12. **Imagen del diseño del sistema**



Fuente: elaboración propia.

3.5. Costos

El costo del sistema de intercambiador de calor aire-tierra varía dependiente de las características del diseño y el trabajo requerido; para este caso los valores de trabajos de construcción e instalación se obtuvieron por parte de Prefaco S.A. para este diseño en especial.

- Elementos del intercambiador
 - Ventilador: Q 350.
 - Tubería TDP: la tubería se vende por tramos de 6 m cada uno; el costo es de Q 700,00 tramo; el total de tubería necesaria sería de 22 m (punto de captación, profundidad, intercambiador de calor, profundidad, instalación en el interior); será necesario comprar 4 tramos. Dan un total de: Q 2 800.

- Trabajo de instalación.
 - Excavación: se requiere una excavación de 7,2 metros cúbicos; el costo promedio de Prefaco S.A. es de Q80 por metro cubico. Da un total de Q576.
 - Drenaje: para la realización del drenaje se tendrá que comprar piedra e instalarla alrededor del drenaje; el proceso se desglosa de la siguiente manera: Q 200 piedra, Q 100 excavación, Q 100 colocación de piedra, sifón Q 50. Da un total de: Q 450.
 - Rellenado de la excavación: Q 600.
 - Instalación del ventilador eléctrico: por el trabajo eléctrico: Q 1 500.
 - Trabajo de acomodamiento en cimiento y piso (albañilería): Q 700.

- Acabados e instalación en cuarto, tabla yeso, rejilla, registro para ventilador: Q 1 000.

3.5.1. Comparación de costos

Se realizó una comparación del costo del sistema y la instalación entre un sistema de A/C mecánico y el sistema de intercambiador de calor aire-tierra para esta aplicación en particular.

Tabla II. **Comparación de costos**

A/C	Intercambiador de calor
<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de 2 toneladas Q 3 650 • Instalación: Q 2 500 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilador: Q 350 • Tubería TDP: Q 2 800 • Excavación: Q 576 • Drenaje: Q 450 • Rellenado: Q 600 • Inst. Eléctrica: Q 1 500 • Albañilería: Q 700 • Acabados: Q 1 000
<ul style="list-style-type: none"> • Total: Q 6 150 	<ul style="list-style-type: none"> • Total: Q7 976,00

Fuente: elaboración propia.

Como se observa, en este caso existe una diferencia de precio de instalación entre el intercambiador de calor y el A/C mecánico; el intercambiador de calor es más caro por Q.1 826,00. Cabe recordar que el costo de la instalación del sistema de intercambiador de calor resulta ser más económico en esta situación ya que se considera al momento de construcción de la vivienda.

4. FASE DE DOCENCIA

4.1. Funcionamiento

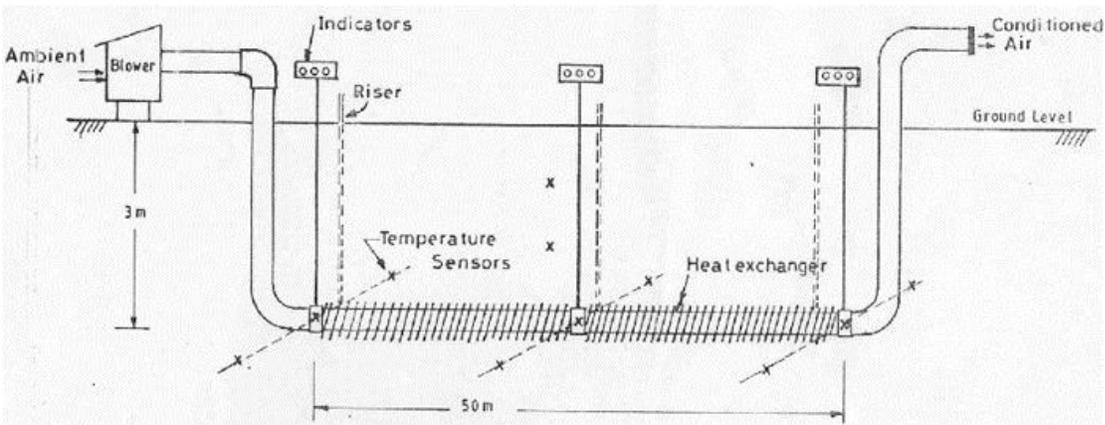
El subsuelo, debido a su gran masa, mantiene una mayor estabilidad térmica que la atmósfera a lo largo del año, lo que evita los picos de frío y de calor. Así en verano, cuando en el exterior hace calor, el subsuelo se mantiene a temperaturas frescas. Por el contrario, en invierno, cuando en el exterior desciende mucho la temperatura, el subsuelo se mantiene templado o al menos más templado que el exterior.

Esta estabilidad, sin embargo, no es uniforme. Por el contrario, va en aumento de forma progresiva, son menores las diferencias entre verano e invierno, conforme al aumento de la profundidad. Se estima que en torno a los 10 o 15 metros de profundidad la temperatura es prácticamente constante a lo largo del año. A profundidades en torno los 2 metros, ya se encuentran valores de temperaturas funcionales próximas a los valores de bienestar (18 °C- 24 °C) de las viviendas.

Otra característica térmica del subsuelo es su desfase con respecto a la temperatura externa del aire. Así, tras los meses cálidos, cuando empiezan los días fríos, buena parte del subsuelo, guardará aun una mayor proporción de calor relativo al aire. De la misma forma, cuando empiezan los días de calor, el subsuelo mantiene una temperatura más fresca. Esto se debe a la gran cantidad de masa que tiene el subsuelo lo que supone que tardará un tiempo mayor que el aire en ganar el calor y también en perderlo. Esta es la característica de gran almacén térmico.

En el intercambiador de calor aire-tierra, el aire entra por una toma de aire debidamente protegida, circula por canalizaciones enterradas gracias a un sistema de impulsión y es repartido al área a climatizar.

Figura 13. **Diagrama básico de un intercambiador de calor aire-tierra**



Fuente: *Earth to air heat exchange through buried pipes*. www.esru.strath.ac.uk.

4.2. Mantenimiento

Los intercambiadores deben estar equipados con filtros que impidan la entrada de partículas a la zona climatizada. El mantenimiento de los mismos debe ser el adecuado. Los filtros deberán cambiarse periódicamente. El uso de filtros opacimétricos, que retienen el polvo y el polen, es frecuente. El control de las bocas interiores debe hacerse al mismo tiempo que las exteriores. Una limpieza quincenal es aconsejable.

Para el mantenimiento a largo plazo debe considerarse que la vida útil de los ventiladores impulsores suele situarse entre los 15 y 20 años. El sistema debe ser accesible para permitir su lavado. Una frecuencia anual parece

razonable. El clima efectivo del emplazamiento, la profundidad de las instalaciones y la velocidad de flujo tienen una incidencia clara en los riesgos de condensación. El uso de productos especializados, la utilización de agua con soluciones desinfectantes solo es posible si las pendientes permiten la evacuación para evitar el estancamiento.

La limpieza deberá realizarse teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas reinantes para favorecer un buen secado. Preferiblemente, la instalación dispondrá de registros para facilitar el acceso a la instalación. Ello es más fácil en las instalaciones de gran diámetro pero también es posible en las instalaciones de menor diámetro. Sin embargo, el seguimiento y la monitorización de diversas instalaciones ha puesto de relieve que la acumulación de condensación en el intercambiador o sus cámaras es irrelevante en un clima mediterráneo seco.

Preferiblemente, la instalación dispondrá de registros para facilitar el acceso a la instalación. Esto es más fácil en las instalaciones con un diámetro mayor pero es posible en las instalaciones con un menor diámetro.

4.3. Instalación

Para la instalación de este equipo es preferible que se considere al momento de la construcción de la vivienda, debido a que esto facilita de manera considerable la instalación y reduce considerablemente su costos.

La instalación requiere de realizar la excavación a la profundidad necesaria e instalar la tubería; esta tubería se debe introducir al salón a climatizar.

Los elementos importantes para tomar en cuenta a la instalación son los siguientes.

4.3.1. Punto de captación del aire

Situar la captación a una altura de 1 a 1,5 metros y situarla en un lugar donde exista bastante movimiento de aire son medidas que se toman para evitar sobretodo la captación de gas radón. El gas radón es un gas radiactivo que se genera de forma natural en toda la corteza terrestre, aunque con mayor intensidad en zonas volcánicas y graníticas. En concentraciones altas resulta perjudicial para la salud por lo que debe ser evitado. Dado que es más pesado que el aire, tiende a acumularse en hondonadas y en agujeros cuando no hay corrientes de aire que puedan dispersarla.

La colocación adecuada del captador de aire externo, unido a una estanqueidad del sistema que impida que este gas pueda filtrarse al interior de las tuberías, evita que la contaminación de este tipo de gas afecte a los pozos provenzales o canadienses.

4.3.2. Filtros

Son los encargados de purificar el aire y con ello evitar la entrada de polvo y suciedad al interior de los conductos.

4.3.3. Intercambiador de calor

Es el elemento que transfiere el calor del subsuelo al aire. Se trata en definitiva de la tubería enterrada. La longitud y el diámetro de este conducto podrá ser de diferentes tamaños en función de aspectos como la profundidad y

naturaleza del terreno, potencia del elemento que succiona el aire, las necesidades térmicas que se necesiten, entre otros. De capital importancia es la naturaleza del terreno y de su transmisividad de calor.

4.3.4. Elemento de circulación del aire

El aire necesitará de un elemento que lo impulse y lo haga circular por las tuberías enterradas.

En este punto, y dependiendo de lo que se pretenda conseguir, se pueden optar por elementos activos (mecánicos) o pasivos (natural).

Como elemento activo, puede tratarse de un pequeño ventilador o extractor de potencia adecuada que succione el aire de las tuberías y lo haga circular.

4.4. Consideraciones

Para el diseño y la instalación del sistema existen ciertas consideraciones que hay que tomar en cuenta en la construcción y el diseño del mismo.

4.4.1. Construcción

- Analizar la construcción y el terreno para determinar la profundidad de la instalación del intercambiador.
- Determinar el tipo de suelo en el terreno.

- tener definido el área a climatizar debido a que cualquier cambio afecta el diseño.
- Tener la información de las temperaturas máximas y medias en el sector para considerarlas en el diseño.
- Trabajar logísticamente con el equipo de construcción para que sea eficiente la instalación y cumplir con los tiempos estimados.

4.4.2. Diseño

Para el diseño de este sistema se debe tomar en consideración los materiales y las condiciones bajo las cuales se diseñara atendiendo a las condiciones de cada caso en específico.

4.4.2.1. El tipo de material de los conductos

En la actualidad, desde un punto de vista térmico, este parámetro no tiene una importancia realmente significativa debido a que el factor limitante alrededor de los conductos es la conductividad del suelo. En los conductos se ha utilizado diversos tipos de plásticos (PVC, polipropileno, entre otros), hormigón pretensado, cerámica, tubos metálicos galvanizados, entre otros. El material debe ser suficientemente resistente al aplastamiento cuando el tubo es enterrado. Los tubos corrugados presentan una mayor resistencia estructural pero también mayor impedimento al flujo, debido a eso la tubería preferencial sería corrugada por fuera y lisa por dentro.

4.4.2.2. Dimensionado del sistema

La influencia de las dimensiones del conducto, temperatura y velocidad de entrada del aire sobre la temperatura de salida del aire ha sido estudiada detalladamente por varios autores. Las conclusiones más relevantes son las siguientes:

- La temperatura de salida del aire depende fuertemente de la temperatura de entrada.
- La variación diurna de la temperatura del suelo es aproximadamente sinusoidal, la amplitud decrece rápidamente en profundidad y el momento de la máxima y la mínima se desplaza con el tiempo; existe un retraso en la medida que la onda térmica penetra el suelo.
- Las características del suelo son muy importantes: las propiedades térmicas del mismo influyen fuertemente el comportamiento térmico del sistema.
- A mayor longitud del conducto existe mayor transferencia de calor y el rendimiento del sistema aumenta. Dicha longitud no se puede prolongar indefinidamente para mejorar el rendimiento debido a que la temperatura de salida presenta un comportamiento asintótico con respecto a la longitud del conducto. Ello permite definir una longitud máxima a partir de la cual cualquier aumento influye muy poco en la temperatura de salida del aire por lo que se hace poco conveniente económicamente. Los valores usuales para longitud de conductos se encuentran en el intervalo comprendido entre los 10 y los 100 m.

- Para la velocidad del flujo del aire se consideran óptimos valores alrededor de 4 m/s para conductos de 20 cm de diámetro; existe un compromiso entre la potencia necesaria para hacer circular el aire y el acondicionamiento resultante. Los diámetros pequeños son preferibles desde un punto de vista térmico, pero para una misma velocidad de flujo presentan mayores pérdidas por fricción así que lo más adecuado es el cálculo del balance entre la transferencia de calor y el soplado de aire en los conductos. Valores entre 20 y 60 cm de diámetro son típicos; se pueden alcanzar valores superiores al metro en grandes edificios (hoteles, centros comerciales, entre otros).
- Es más eficiente un conjunto de conductos más cortos que menor cantidad de conductos de mayor longitud.

CONCLUSIONES

1. Se diseñó el intercambiador aire-tierra mediante los datos obtenidos de temperatura exterior, profundidad de instalación, diámetro de tubería y condiciones deseadas en el interior utilizando el modelo St. Benkert, F.D. Heidt, D. Schöler, obteniendo el resultado para la tubería de un diámetro de 0,2 m, una profundidad de 3 m y una longitud de 12 m.
2. El intercambiador de calor aire-tierra consume menos energía que un sistema de aire acondicionado para lograr el mismo objetivo, esto significa un gran ahorro energético y económico para el usuario en la cuenta de la energía eléctrica: anualmente, Q 7 000, en promedio.
3. El intercambiador de calor aire-tierra se instalará a 3 metros de profundidad, tendrá una longitud de 12 metros y un diámetro de 0,2 m; para eso se realizó una excavación en el lugar con el objetivo de verificar que las condiciones de temperatura a esa profundidad son adecuadas para el sistema; se logró determinar que cuando la temperatura ambiente es de 30 C en el subsuelo la temperatura era de 19 C.
4. Se describió el funcionamiento del sistema y se determinó que el mantenimiento de este sistema es simple y su instalación se debe considerar en el momento de la construcción de la vivienda para que facilite el trabajo, sea económico y eficiente la instalación del sistema así como la construcción de la vivienda.

5. El diseño del intercambiador de calor aire-tierra puede ser longitudinal o con forma de serpentín; se tienen opciones de diseño en el caso que se cuente con problemas de espacio en la propiedad.

6. Dados los resultados del ahorro económico que proporciona este sistema con la energía eléctrica, se comprobó su viabilidad energética; con esto se debe seguir investigando para determinar su viabilidad técnica y económica para Prefaco S. A.

RECOMENDACIONES

1. Al gerente administrativo: considerar la instalación del intercambiador de calor aire-tierra durante la construcción de la vivienda debido a que esto facilitará su instalación y disminuirá los problemas que este pueda tener si ya hay una construcción.
2. Al director de obras: trabajar en equipo con el constructor para que la instalación no interrumpa la construcción de la vivienda o viceversa.
3. Capacitar y tener un equipo dedicado a la instalación del sistema para trabajar en equipo y coordinado con el equipo que estará construyendo la vivienda.
4. Realizar el mantenimiento requerido para evitar problemas en el sistema, ya que este es sumamente importante para garantizar el buen funcionamiento y prolongar el tiempo de vida del sistema.
5. Brindar el mantenimiento necesario a los filtros de la tubería y del impulsor de aire, ya que estos son los elementos vitales del sistema; si falla alguno, no se podrá utilizar hasta que se realice la reparación correspondiente.

BIBLIOGRAFIA

1. ALARCÓN CREUS, José. *Manual de aire acondicionado*. España: Marcombo, 2009. 200 p.
2. ARGUETA LEMUS, Jose Juan. *Acondicionamiento del ambiente en el salón de profesores de la escuela de mecánica de la facultad de ingeniería de la universidad de san Carlos de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2015. 180 p.
3. BENKERT, F. D.; HEIDT, D. *Schöler, calculation tool for earth heat exchangers gae*. Alemania: Universidad de Siegen, 1998. 220 p.
4. C. F. Müller, *Manual de aire acondicionado y calefacción*. México: Alfaomega, 2010. 120 p.
5. ESCUER SOLÉ, Joan, *Aerogeotermia: intercambiadores de calor tierra-aire para reducir la demanda energía de enfriamiento y renovación de aire*, Geo consultores Técnicos. Argentina: McGraw-Hill, 2001. 150 p.
6. FLORES LARSEN, Silvana y LESINO, Graciela. *Intercambiadores Tierra-aire:Uso del suelo para enfriamiento pasivo*. Argentina: McGraw-Hill, 1999. 150 p.

7. GIUVINY, Williams; CHOC, Martin. *Cálculo, diseño e instalación de un sistema de acondicionamiento de aire, regulado por un sistema de control inteligente, en el edificio del ministerio público, en la ciudad de Guatemala, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 208 p.
8. McQuiston, Jerald; PARKER, Jeffrey. *Spitler, calefacción, ventilación y aire acondicionado: análisis y diseño / Faye*. México: editorial Continental, 1998. 210 p.
9. Nergiza. *Filtros de aire*. [en línea]. <<https://nergiza.com/filtros-de-aire-todo-lo-que-tenes-que-saber/>>. [Consulta: 22 de enero de 2019].
10. PITA, Edward. *Acondicionamiento de aire principios y sistemas*. México: editorial Continental, 1994. 811 p.
11. ROLDAN MUÑOZ, Mario Humberto. *Diseño de un sistema de aire acondicionado para la sección central del nivel # 3 del edificio general de administración de la ciudad universitaria zona 12, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 200 p.
12. S&P. *Ventilación natural*. [en línea]. <<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/ventilacion-natural/>>. [Consulta: 22 de enero de 2019].
13. TRICOMI, Ernest y GAVALDÁ, Jaime. *ABC del aire acondicionado*. México: Alfaomega, 1996. 155 p.

ANEXOS

Anexo 1. Carga sensible

- Calor debido a la radiación solar a través de ventanas.

Tabla A. Calor a través de ventanas

Latitud	24				32				40			
	9 a.m.	Mediodía	3 p.m.	6 p.m.	9 a.m.	Mediodía	3 p.m.	6 p.m.	9 a.m.	Mediodía	3 p.m.	6 p.m.
(Mirando hacia)	–	–	–	0.58	–	–	–	0.63	–	–	–	0.83
N (para sombra)	28	37	33	12	27	36	32	14	25	34	30	15
NE	135	47	32	9	118	41	31	9	101	36	30	10
E	202	71	32	9	202	70	31	9	199	68	30	10
SE	153	83	33	9	168	107	45	9	181	131	34	10
S	32	68	48	9	41	104	71	11	59	141	98	14
SO	26	50	147	65	25	64	168	98	24	84	187	90
O	26	39	171	100	25	38	168	115	24	36	165	129
NO	26	38	153	76	25	36	82	85	24	34	65	92
Horizontal	153	267	215	39	150	256	207	41	142	239	194	42

Continuación del anexo 1.

Tabla B. Tipo de vidrio

Tipo de vidrio	Sin sombra	Con sombra
Vidrio plano (1/8")	1	0.64
Vidrio plano (1/4")	0.95	0.64
Vidrio que absorbe calor o con algún color (3/16")	0.72	0.57
Vidrio reflectivo de (1/4")	0.30-0.45	0.25-0.50
Vidrio claro con película reflectiva aplicada en el interior	0.25-0.45	0.21-0.35
Vidrios dobles	0.90	0.57
Vidrios claros (1/8")	0.83	0.57
Vidrios claros (1/4")	0.56	0.39

Tabla C. Calor por radiación solar

Latitud	24°				32°				40°			
	9 a.m.	Mediodía	3 p.m.	6 p.m.	9 a.m.	Mediodía	3 p.m.	6 p.m.	9 a.m.	Mediodía	3 p.m.	6 p.m.
(Mirando hacia N)	-	-	-	0.58	-	-	-	0.63	-	-	-	0.83
NE	1.89	-	-	-	2.17	-	-	-	2.13	-	-	-
E	1	-	-	-	0.97	-	-	-	0.89	-	-	-
SE	0.93	4.55	-	-	1	3.33	-	-	0.86	2.33	-	-
S	4.35	3.57	4.35	-	2.63	2.38	2.63	-	1.85	1.59	1.85	-
SO	-	4.55	0.93	-	-	3.33	1	-	-	2.33	0.86	-
O	-	-	1	-	-	-	0.97	-	-	-	0.89	-
NO	-	-	1.89	-	-	-	2.17	-	-	-	2.13	-

Fuente: GIUVINY, Williams; CHOC, Martin. *Cálculo, diseño e instalación de un sistema de acondicionamiento de aire, regulado por un sistema de control inteligente, en el edificio del ministerio público, en la ciudad de Guatemala, Guatemala.* p. 125.

Anexo 2. **Calor debido a la transmisión a través de paredes, techo, piso y vidrio**

Tabla D. **Techo**

Construcción	Valor U	
	Verano	Invierno
Estructura con laterales de madera, forro y terminado interior		
Sin aislamiento	0.22	0.23
Con aislamiento R-7	0.09	0.09
Con aislamiento R-11	0.07	0.07
Estructura con ladrillo de 4"		
Sin aislamiento	0.24	0.24
Con aislamiento	0.09	0.09
Marco con estucado de 1" foro exterior y término interior		
Sin aislamiento	0.29	0.29
Con aislamiento	0.10	0.10
Mampostería		
8" de bloques de concreto, sin terminado	0.49	0.51
12" de bloques de concreto, sin terminado	0.45	0.47
Mampostería (con bloques de 8")		
Placas forradas de asbesto-cemento (1/2") sin aislamiento	0.29	0.30
Placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal (1/2") sin aislamiento	0.29	0.30
Láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5)	0.13	0.13
Mampostería (bloques de 8" de material volcánico)		
Placas forradas de asbesto- cemento de (1/2") sin aislamiento	0.25	0.25
Placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal de (1/2") sin aislamiento	0.17	0.17
Láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y de placas de pared de asbesto-cemento (1/2")	0.12	0.12
Mampostería (ladrillo de 4" de fachadas con bloques de material volcánico de 8" o con losas de 8" huecas de barro)		
Placas forradas de asbesto-cemento (1/2") sin aislamiento	0.22	0.22
Placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal (1/2") sin aislamiento	0.15	0.15
Láminas de aislamiento de 1" de poliestireno R-15 y placas de pared de asbesto-cemento (1/2")	0.12	0.12
Mampostería de ladrillo de 4" de fachada, ladrillo común de 4"		
Placas forradas de asbesto-cemento (1/4") sin aislamiento	0.28	0.28
Placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal (1/2") sin aislamiento	0.18	0.19
Láminas de aislamiento de 1" de poliestireno R-5 y placas de asbesto-cemento (1/2")	0.13	0.13
Mampostería 8" de concreto-cemento (1/2") sin aislamiento		
Placas forradas de asbesto-cemento (1/2") sin aislamiento	0.33	0.34

Continuación del anexo 2.

Tabla E. **Techo, 2**

Techo (plano, sin cielo falso terminado)		
Cubierta de acero		
Sin aislamiento	0.64	0.86
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.23	0.25
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.15	0.16
Cubierta de madera de 1"		
Sin aislamiento	0.40	0.48
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.19	0.21
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.12	0.13
Cubierta de madera 2.5"		
Sin aislamiento	0.25	0.28
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.15	0.16
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.10	0.11
Cubierta de madera de 4"		
Sin aislamiento	0.17	0.18
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.12	0.12
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.09	0.09
Techo cielo-falso		
Cubierta de acero		
Sin aislamiento	0.33	0.40
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.17	0.19
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.12	0.13
Cubierta de madera de 1"		
Sin aislamiento	0.26	0.29
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.15	0.16
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.11	0.11
Cubierta de madera de 2.5"		
Sin aislamiento	0.18	0.20
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.12	0.13
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.09	0.10
Cubierta de madera de 4"		
Sin aislamiento	0.14	0.15
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.10	0.10

Continuación del anexo 2.

Tabla F. **Techo, 3**

Cubierta de concreto liviano de 6"		
Sin aislamiento	0.10	011
Cubierta de concreto liviano de 8"		
Sin aislamiento	0.08	0.09
Cubierta de concreto pesado de 2"		
Sin aislamiento	0.32	0.38
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.17	0.19
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.11	0.12
Cubierta de concreto de 6"		
Sin aislamiento	0.28	0.33
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.16	0.17
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.11	0.12
Techo ático-cielo-falso		
Sin aislamiento	0.15	0.29
Con aislamiento R-19 (5 ½" y 6 ½")	0.04	0.05
Pisos		
Losa de concreto contra el suelo		
Sin aislamiento	0	50
Con aislamiento de placas de poliestireno de 1" con 2 pies profundidad o con 2 pies de ancho	0	30
Piso sobre espacio no acondicionado, sin cielo-falso		
Estructura de madera		
Sin aislamiento	0.33	0.27
Con aislamiento R-7 (2" y 2 ¾")	0.09	0.08
Cubierta de concreto		
Sin aislamiento	0.59	0.43
Con aislamiento R-7	0.10	0.09
Puertas		
Madera sólida		
De 1" de espesor	0.61	0.64
De 1 ½" de espesor	0.47	0.49
De 2" de espesor	0.42	0.43
Acero		
De 1 ¾" de espesor, con interior de fibra mineral	0.58	0.59
De 1 ¾" de espesor, con interior de poliestireno	0.46	0.47
De 1" de espesor, con interior de espuma de uretano	0.39	0.40

Tabla G. **Tipo de vidrio, 2**

Tipo de vidrio	Verano		
	Sin sombra	Con sombra	Invierno
Vidrio sencillo	1.06	0.81	1.13
Vidrio doble (¼")	0.61	0.52	0.65
Ventana corriente+ ventana para tormentas	0.54	0.47	0.56

Continuación del anexo 2.

Tabla H. **Pared**

Construcción de la pared	Hora estándar	NE oscuro	E oscuro	SE oscuro	S oscuro	SO oscuro	O oscuro	N oscuro
Construcción liviana	9 a.m.	28	35	29	16	18	18	14
	mediodía	27	38	38	27	24	24	17
	3 p.m.	24	29	31	32	37	34	20
	6 p.m.	23	26	26	26	41	47	21
Construcción medio-liviana	9 a.m.	12	14	11	6	8	9	7
	mediodía	25	34	27	11	9	9	10
	3 p.m.	29	35	39	26	21	18	16
	6 p.m.	30	37	39	36	41	38	22
Construcción medio-pesada	9 a.m.	14	17	16	14	18	20	12
	mediodía	17	21	19	13	15	16	11
	3 p.m.	21	28	25	16	14	17	12
	6 p.m.	25	32	30	23	23	22	15
Construcción pesada	9 a.m.	20	26	23	20	24	26	15
	mediodía	19	24	22	19 ¹⁸	24	24	14
	3 p.m.	20	24	22	19	22	23	14
	6 p.m.	20	26	25		22	23	14

Tabla I. **Pared, 2**

CONSTRUCCIÓN DEL TECHO	HORA ESTÁNDAR							
	a.m.				p.m.			
	9		12		3		6	
	oscuro	claro	oscuro	claro	oscuro	claro	oscuro	claro
CONSTRUCCIÓN LIVIANA								
Cubierta de acero con aislamiento de 1 a 2"	34	14	81	42	90	50	56	34
Estructura de madera de 1" con aislamiento de 1 a 2"	19	6	65	32	88	48	70	40
Estructura de madera de 2.5" con aislamiento de 1 a 2"	7	1	38	17	68	35	73	40
CONSTRUCCIÓN MEDIANA								
Estructura de madera de 4" con aislamiento de 1 a 2"	8	1	21	8	44	19	60	32
Concreto liviano de 4" (sin aislamiento)	8	1	40	17	70	36	75	41
Concreto pesado de 2" con 1 a 2" de aislamiento	8	1	40	17	70	36	75	41
Concreto liviano de 6 a 8" (sin aislamiento)	32	62	19	41	6	16	1	4
CONSTRUCCIÓN PESADA								
Concreto pesado de 4" con aislamiento de 1 a 2"	11	3	21	8	39	19	53	28
Concreto pesado de 6" con aislamiento de 1 a 2"	18	9	21	9	33	15	44	22
TECHOS BAJO LA SOMBRA								
Liviano	3		11		18		17	
Medianos	2		7		15		17	
Pesados	3		5		11		15	

Fuente: ROLDAN MUÑOZ, Mario Humberto. *Diseño de un sistema de aire acondicionado para la sección central del nivel # 3 del edificio general de administración de la ciudad universitaria zona 12, Guatemala.* p. 147.

Anexo 3. Calor sensible debido al aire de infiltraciones

Tabla 8. Calor sensible

Clase de área	Verano		Invierno	
	Protección ordinaria	Sellamiento impermeable	Protección ordinaria	Sellamiento impermeable
Sin ventanas	0.30	0.15	0.5	0
Salones de entrada	1.20-1.80	0-0.90	2-3	1-1.50
Salones de recepción	1.20	0.60	2	1
Baños	1.20	0.60	2	1
Infiltración a través de ventanas Pieza con 1 lado expuesto	0.60	0.30	1	0.50
Pieza con 2 lados expuestos	0.90	0.45	1.5	0.75
Pieza con 3 lados expuestos	1.20	0.60	2	1
Pieza con 4 lados Expuestos	1.20	0.60	2	1

Tabla 9. Temperaturas

Diferencia de temperatura	Tráfico de personas (TR)							
	10	20	40	60	80	100	200	400
10	4	8	16	24	32	40	80	160
20	8	16	32	48	64	80	160	320
40	16	32	64	96	128	160	320	640
60	24	48	96	144	192	240	480	960
80	32	64	128	192	256	320	640	1280
100	40	80	160	240	320	400	800	1600

Fuente: ROLDAN MUÑOZ, Mario Humberto. *Diseño de un sistema de aire acondicionado para la sección central del nivel # 3 del edificio general de administración de la ciudad universitaria zona 12, Guatemala.* p. 147.

Anexo 4. **Calor generado por la iluminación de la sala**

Tabla 10. **Tipo de calor**

Tipo	Ganancia de calor BTU/h
Fluorescente	Luces totales (W)x1.25x3.4
Incandescente	Luces totales (W)x3.4

Tabla 11. **Grado de actividad del calor**

Grado de actividad	Aplicación típica	Calor total BTU/h	Calor sensible BTU/h	Calor latente BTU/h
Sentadas, Descansando	Teatro/matinee Salón de clase/escuela	330	220	110
Sentadas Descansando	Teatro/tarde	350	245	105
Sentadas Trabajo liviano	Oficina, hotel, salón de clases/secundaria	400	245	155
Trabajo oficina Moderadamente activo	Oficina, hotel, salón de clases/universidad	450	250	200
De pie Trabajo liviano Camina lentamente	Droguería Banco	500	250	250
Trabajo sedentario	Restaurante	550	275	275
Trabajo banco liviano	Factoría	750	275	475
Baile moderado	Pista de Baile	850	305	545
Caminando a 3MPH trabajo moderadamente pesado	Factoría	1000	375	625
Bolos trabajo pesado	Pista de bolos Factoría	1450	580	870

Fuente: Folleto curso refrigeración y aire acondicionado USAC

