



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN MEDIANTE
UN POZO CANADIENSE EN QUIMISTÁN, SANTA BÁRBARA, HONDURAS**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

21651047 ANDREA NICOLLE DUBÓN TORRES

ASESOR: ALICIA MARÍA REYES DUKE

CAMPUS SAN PEDRO SULA; AGOSTO, 2020

AGRADECIMIENTO

Primeramente, quiero agradecer a Dios por hacer esto posible y por darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida.

A mi madre Elsy Torres, a mi padre Dennis Dubón y a mi padrastro Mario Castrillo, sin su sacrificio, apoyo y amor esta etapa importante en mi vida académica no sería posible.

A mi hermana, Sofia Dubón, quien me ha brindado su ayuda y apoyo durante mis años de universidad.

A Oscar Robles, quien me apoyo incondicionalmente durante lo largo de la carrera con amor y paciencia.

A mis amigos, Carlos Lara, Cesar Núñez y Kenneth Stwolinsky, quienes me brindaron su apoyo en los momentos más necesarios.

Al ing. Ostin Solís, ing. Franklin Martínez y a todos los catedráticos, a quienes admiro y agradezco por transmitirme sus enseñanzas.

DEDICATORIA

Este trabajo está dirigido a mi madre quien siempre me apoyó en cada momento con mucho esfuerzo y sacrificio, quien sin su ayuda este logro no sería posible.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento detalla la investigación del proceso de un sistema de climatización de un pozo canadiense. Siendo el objetivo realizar un análisis del costo beneficio de un sistema de climatización más ecológico utilizando energía geotérmica de baja entalpia, se determinó como ubicación del proyecto la residencial Green Valley situada en el municipio de Quimistán Santa Bárbara, Honduras y se utilizaron los parámetros meteorológicos de esa zona. Se analizo la funcionalidad de los sistemas de tuberías subterráneas y sus respectivos materiales, se calculó su longitud con respecto a la temperatura del aire de salida deseada en las condiciones desfavorables del verano tomando en cuenta todos los parámetros termodinámicos del aire, suelo y de los materiales utilizados para el buen funcionamiento de este sistema y así poder remplazar los sistemas de climatización convencionales en edificios residenciales o casas unifamiliares, logrando así ahorros en el consumo de energía eléctrica y obteniendo una mayor eficiencia energética. Se le dio un enfoque mixto a la investigación, siendo así, cuantitativo y cualitativo empleando formulas, análisis financiero y técnico para el desarrollo del trabajo.

Palabras claves:

Costo Beneficio, Energía geotérmica de baja entalpia, Pozo Canadiense, Sistema de Climatización, Temperatura del Terreno.

ABSTRACT

This document details the investigation of the process of a climatization system for a Canadian well. The objective being to carry out a cost-benefit analysis of a more environmentally friendly climatization system using low-enthalpy geothermal energy in the residential Green Valley located in the municipality of Quimistán Santa Bárbara, Honduras which was determined as the location of the project with the respective weather parameters of that area. The functionality of underground piping systems and their respective materials were analyzed, its length was calculated with respect to the desired output air temperature in the unfavorable summer conditions taking into account all the thermodynamic parameters of air, soil and materials used for the proper functioning of this system and thus be able to replace conventional air conditioning systems in residential buildings or single-family homes, thus achieving savings in electricity consumption and obtaining greater energy efficiency. A mixed approach was given, having with this a quantitative and qualitative research using formulas, financial and technical analysis for the development of work.

Keywords:

Canadian Well, Cost-Benefit, Climatization System, Low enthalpy geothermal energy, Ground temperature.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
	2.1 Precedentes del Problema	2
	2.2 Definición del problema	3
	2.3 Justificación.....	4
	2.4 Preguntas de Investigación	5
	2.5 Objetivos.....	5
	2.51 Objetivo General.....	5
	2.5.2 Objetivos específicos.....	5
III.	MARCO TEÓRICO	6
	3.1 Análisis de la Situación Actual	6
	3.1.1 MACROENTORNO.....	6
	3.2 Energía Geotérmica	9
	3.2.1 Energía Geotérmica de Baja Entalpía.....	10
	3.3 Energía Geotérmica en el Funcionamiento de un Pozo canadiense.....	11
	3.4 El Uso Del Suelo- Aprovechamiento De La Inercia Térmica.....	14
	3.4.1 Propiedades Geotérmicas del Suelo	14
	3.4.2 La Conductividad Térmica (λ):	15
	3.4.3 Alta Capacidad Calorífica.....	15
	3.4.4 Leyes De La Termodinámica.....	17
	3.5 Diferentes Configuraciones del sistema	18
	3.5.1 Directos Aislados (Anillos).....	18

3.5.2 Distribución Techelmann (rejilla).....	19
3.5.3 Bloque Techelmann (bloque-rejilla).....	20
3.6 Elementos de Instalación del sistema.....	21
3.7 Principio de Fundamento.....	24
3.7.1 Mantenimiento.....	26
3.8 Clima en Honduras.....	27
3.9 Tipo de Suelo en Santa Barbará.....	28
3.10 El uso del Suelo como Intercambiador de Calor.....	29
3.10.1 Difusividad térmica.....	30
3.10.1 Dimensionamiento.....	30
3.11 Cálculos del Sistema.....	32
3.11.1 Calculo de Capacidad de Refrigeración.....	35
3.12 Costo Beneficio.....	35
3.12.1 Valor Actual Neto (VAN).....	36
3.12.2 Tasa Interna de Retorno (TIR).....	37
IV. METODOLOGÍA.....	38
4.1 Enfoque.....	38
4.2. Variables de investigación.....	38
4.2.1 Variable Dependiente.....	38
4.2.1 Variables Independiente.....	39
4.3 hipótesis.....	41
4.3.1 hipótesis de la investigación.....	41
4.3.1 hipótesis Nula.....	41

4.4 Técnicas e instrumentos aplicados	41
4.6 metodología de Estudio.....	43
4.7 Cronograma de Actividades.....	44
V. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	45
5.1 Temperatura.....	45
5.2 Cálculos	45
5.2.1 Cálculo de longitud de la tubería subterránea de pvc.....	48
5.2.2 Cálculo de longitud de la tubería subterránea de acero inoxidable.....	50
5.2.3 Cálculo de capacidad de refrigeración del Sistema	53
5.3 Carga Térmica.....	53
5.4 Modelo en 3D	57
5.5 características del ventilador.....	57
5.6 Perdidas de carga en la tubería	59
5.7 Análisis Financiero.....	60
5.7.1 Costos de Materiales.....	60
5.7.2 Consumo Energético.....	62
5.7.3 Costo Beneficio con tubería PVC.....	63
5.7.4 Costo Beneficio con tubería de acero inoxidable	66
VI. CONCLUSIONES.....	70
VII. RECOMENDACIONES	72
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	73
IX. ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Evaluación de la tarifa promedio.....	3
Ilustración 2. Tipo de alumbrado	4
Ilustración 3. Almacén de papel.....	7
Ilustración 4. Temperatura de entrada y salida en verano	7
Ilustración 5. Distribución interior de temperatura en verano.....	8
Ilustración 6. Gráfico temperatura terrestre.....	11
Ilustración 7. Esquema de funcionamiento	13
Ilustración 8. Distribución directos aislados.....	18
Ilustración 9. Distribución Techelmann (rejilla)	19
Ilustración 10. Tipo bloque Techelmann (bloque-rejilla).....	20
Ilustración 11. Torre de entrada.....	22
Ilustración 12. Colector	22
Ilustración 13. Extractor de ventilación	23
Ilustración 14. Sistema de conducto.....	24
Ilustración 15. Intercambiador de Temperatura	26
Ilustración 16 Temperatura promedio anual en Honduras.....	27
Ilustración 17. Brillo solar promedio anual.....	28
Ilustración 18. Variación del incremento de temperatura con el diámetro	31
Ilustración 19. variación del incremento de temperatura respecto al espesor.....	32
Ilustración 20. Diagrama de variable de investigación	39
Ilustración 21. Historial de tarifas.....	40

Ilustración 22. PROGRAMA CYPETHERM ASHRAE LOADS.....	42
Ilustración 23. Temperatura promedio en Quimistán	45
Ilustración 24. Temperatura del aire y del Terreno.....	47
Ilustración 25. Variación de Temperatura del aire de Entrada y Salida.	52
Ilustración 26. Paredes.	54
Ilustración 27. tabiquería.....	54
Ilustración 28. Suelo.	55
Ilustración 29. Techo.....	55
Ilustración 30. Carga Máxima simultanea de refrigeración.....	56
Ilustración 31. evaluación anual de la carga máxima simultanea de refrigeración.....	56
Ilustración 32. Diseño del Pozo canadiense.....	57
Ilustración 33. Ventilador Ipower	57
Ilustración 34. Curva de Rendimiento	58
Ilustración 35. Tasa de Crecimiento y Tarifa Eléctrica.....	63
Ilustración 36. Periodo de recuperación sin Financiamiento tubería PVC.....	64
Ilustración 37. Periodo de recuperación con Financiamiento tubería PVC	65
Ilustración 38.Periodo de recuperación sin Financiamiento tubería de acero inoxidable....	67
Ilustración 39. Periodo de recuperación con Financiamiento tubería de acero inoxidable.	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Costo por Consumo	2
Tabla 2. Temperatura del suelo y la atmosfera en Villa Hay Raid.....	9
Tabla 3. Tipos de Suelo-conductividad térmica-Capacidad Calorífica.....	16

Tabla 4. Materiales y su conductividad térmica.....	23
Tabla 5. Cronograma de Actividades.....	44
Tabla 6. Temperatura del Aire y Terreno.....	46
Tabla 7. Caudales.....	48
Tabla 8. Resistencia térmica tubería PVC	49
Tabla 9. Flujo de calor medio de calefacción tubería PVC.....	49
Tabla 10. Tabla de energía eliminada.....	49
Tabla 11. Superficie y Longitud del conducto PVC.	50
Tabla 12. Resistencia térmica tubería de Acero Inoxidable	50
Tabla 13. Flujo de calor medio de calefacción tubería de Acero Inoxidable.	50
Tabla 14. Superficie y Longitud del conducto de Acero Inoxidable.....	51
Tabla 15. variación de temperatura de entrada y salida.	52
Tabla 16. Especificaciones del ventilador	58
Tabla 17. parámetros de diseño	59
Tabla 18. características del fluido.....	59
Tabla 19. características del circuito.....	60
Tabla 20. características del flujo.....	60
Tabla 21. Costos del Pozo canadiense con tubería PVC.....	61
Tabla 22. Costos del Pozo canadiense con tubería de acero inoxidable	61
Tabla 23. Costo de materiales de una climatización convencional.....	62
Tabla 24. Consumo Energético	62
Tabla 25. Análisis de Inversión sin financiamiento tubería PVC	63
Tabla 26. Costo-Beneficio sin Financiamiento tubería PVC	64

Tabla 27. análisis de inversión con financiamiento tubería PVC	65
Tabla 28. Costo-Beneficio con Financiamiento tubería PVC.....	66
Tabla 29.Análisis de Inversión sin financiamiento tubería de acero inoxidable	66
Tabla 30. Costo-Beneficio sin Financiamiento tubería de acero inoxidable	67
Tabla 31. análisis de inversión con financiamiento tubería de acero inoxidable.....	68
Tabla 32. Costo-Beneficio con Financiamiento.....	69

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. predicción de la Temperatura del suelo	29
Ecuación 2. Difusividad Térmica	30
Ecuación 3. Caudal.....	32
Ecuación 4. Área transversal del conducto.....	32
Ecuación 5.Temperatura media del aire.	33
Ecuación 6. Resistencia térmica del conducto.....	33
Ecuación 7. Resistencia de conducción.....	33
Ecuación 8. Resistencia por convención.....	33
Ecuación 9. Flujo de calor medio por unidad de superficie.....	34
Ecuación 10. energía eliminada	34
Ecuación 11. Superficie de intercambio necesaria.....	34
Ecuación 12. Longitud del ducto.....	35
Ecuación 13. Cálculo de capacidad de refrigeración	35

Ecuación 14. Relación Costo-Beneficio	36
Ecuación 15. Valor actual neto	36
Ecuación 16. Tasa interna de Retorno.....	37

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. Datos RETScreen.....	77
Anexo 2. Aire acondicionado 12,000 BTU.....	77
Anexo 3. Filtro de aire.....	78
Anexo 4. Ventilador Ipower.....	78
Anexo 5. Plano de la casa en la residencial Green Valley	79
Anexo 6. Entrada de tubería a la casa	80
Anexo 7. Comienzo de tubería con filtro.	80

I. INTRODUCCIÓN

El hombre tiene una gran dependencia de la energía en todas sus formas, pero especialmente de energía eléctrica, la demanda de esta se ve afectada por el aumento poblacional y su crecimiento económico. El calentamiento global ha incrementado en los últimos años, debido a esto, nos hemos hecho dependientes de la climatización artificial como ser los aires acondicionados y ventiladores, lo que conlleva grandes consumos de energía eléctrica. En Honduras la mayoría de la población es de escasos recursos, en la zonas rurales se encuentra un 60.1% de pobreza y en las zonas urbanas se encuentra con 38.4% de pobreza (Banco Mundial, 2020), debido a esto una gran parte de la población hondureña no tiene acceso a pagar el consumo de la energía eléctrica ni adquirir los sistemas de climatización convencionales, se estima que el 37% del consumo eléctrico en una vivienda en la zona noroccidental del país es debido al uso de ventiladores y aires acondicionados (ENEE, 2020).

El presente informe tratará sobre la investigación de un sistema de climatización mediante un pozo canadiense en las viviendas localizadas en la residencial Green Valley en Quimistán, Santa Bárbara. Se evaluará el consumo energético y costos de un sistema de climatización convencional en comparación con este sistema. Como objetivo principal se analizará el costo beneficio de un sistema de climatización con intercambiadores de calor a base de energía geotérmica de baja entalpía. . Se realizarán diseños de un pozo canadiense y simulaciones para conocer la carga térmica de la vivienda. Se hará un análisis financiero comparando un sistema de climatización convencional con el sistema de climatización de un pozo canadiense observando cuál de estos es más factible para la vivienda de una persona con pocos recursos. El estudio tomará en cuenta los flujos de aire que se encuentran en la zona, teniendo en consideración la temperatura ambiente y temperatura del suelo.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se habla sobre los precedentes del problema los cuales explican donde se genera el problema planteado, se define el problema, se da una justificación el cual explica porque es importante resolverlos, también se muestra lo que son las preguntas de investigación y por último muestra el objetivo general y los objetivos específicos.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Al momento de diseñar una casa, se debe elegir materiales o diseños con ciertos parámetros para que la vivienda sea cómoda, un parámetro para el confort es mantener climatizada la vivienda. Debido a la mejora de los niveles de vida en los países desarrollados y al uso de edificios insensibles al clima, el aire acondicionado se ha vuelto popular en los últimos años. Según datos de la asociación internacional de refrigeración (IIR, 2002).

El problema con la climatización es el costo de los equipos como es el aire acondicionado o ventiladores, luego esta lo que es el costo de energía eléctrica que conlleva a tener estos equipos instalados. En la tabla 1 se presenta el costo por consumo de los diferentes tipos de aires acondicionados en Honduras.

Tabla 1. Costo por Consumo

Consumidores del Sector Residencial				
Aparatos Eléctricos	Consumo en Kilowatt-Hora [kWh]	Equivalentes en focos incandescentes de 60 W	Equivalentes en Lempiras/hora [<50kWh/mes]	Equivalentes en Lempiras/hora [>50kWh/mes]
Aire acondicionado 12,000 BTU	1.59	27	3.78	5.46
Aire acondicionado 18,000 BTU	2.39	40	5.68	8.2
Aire acondicionado 36,000 BTU	4.77	80	11.35	16.37
Aire acondicionado 60,000 BTU	8.05	134	19.15	27.62

Fuente: (ENEE, 2020)

A medida que el tiempo pasa las tarifas eléctricas van aumentando en los diferentes periodos del año, a continuación, se presenta el incremento de las tarifas desde el 2018 hasta la actualidad en la ilustración 1:

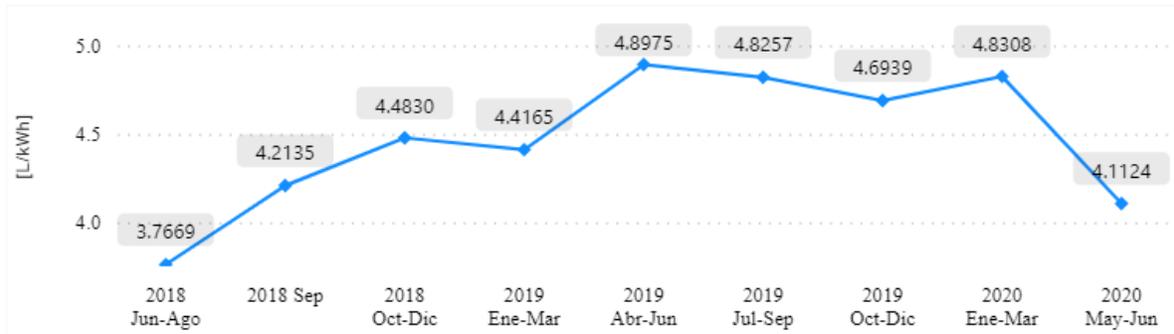


Ilustración 1. Evaluación de la tarifa promedio.

Fuente: (CREE, 2020)

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Debido al cambio climático en Honduras nos vemos afectados por las altas temperaturas siendo así una necesidad para las personas tener climatización. Debido al alto costo de la energía eléctrica en nuestro país, muchas personas tienen limitantes para la instalación de una climatización convencional en sus hogares como es el aire acondicionado teniendo así por optar a formas de ventilación más molestas y menos eficientes para sus hogares. Siendo Honduras un país pobre muchas personas no tienen acceso a pagar el consumo de un sistema de climatización convencional o incluso los mismos aparatos. Honduras enfrenta niveles de pobreza y desigualdad, en las zonas rurales la pobreza es de 60.1% siendo mayor que las zonas urbanas con un 38.4% (Banco Mundial, 2020)

Por lo tanto, se investigará la factibilidad de un diseño de climatización utilizando la energía geotérmica de baja entalpía para reducir la carga térmica de un hogar hondureño. El reto es encontrar una técnica de climatización óptima y financieramente estable para un sistema de climatización funcional que suponga un beneficio para las personas que harán uso y quieran invertir.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Para el ser humano la temperatura de confort especialmente en verano es de alrededor de 25 grados centígrados (Salcedo, 2003). Para alcanzar estas temperaturas en países tropicales tal es el caso de Honduras se requiere lo que es climatización convencional y esto conlleva al consumo de energía eléctrica. Según la ENEE un aire acondicionado de 8,000 BTU consume 158 [kWh] y uno de 10,000 BTU consume 194 [kWh] (ENEE, 2020). Siendo un país de ingreso medio-bajo muchas personas se limitan a tener una climatización por el alto costo de la energía eléctrica. Según la INE en Honduras en la zona rural hay un 70% de pobreza (INE, 2020). En la zona de Quimistán, Santa Bárbara se observa que un 43% de la población se dedica a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (INE, 2018). Teniendo esto en consideración se podría tener un ahorro mayor del consumo energético con sistemas más eficientes y dar oportunidades a sistemas con base más ecológicas.

En el municipio de Quimistán, Santa Bárbara el 66% de la población obtiene la energía eléctrica por medio del sistema público (INE, 2018). A continuación, se muestra una gráfica sobre la obtención de energía eléctrica en el municipio de Quimistán:

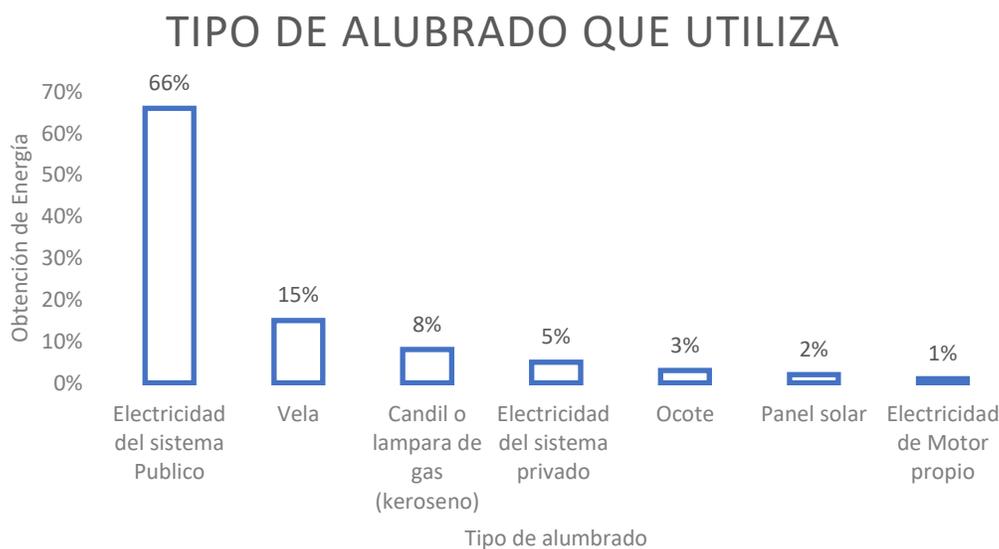


Ilustración 2. Tipo de alumbrado

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del (INE, 2018).

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuánta energía eléctrica consume un sistema de climatización convencional y un sistema de climatización por medio de un pozo canadiense ?
2. ¿Cuál es la longitud de la tubería que se requiere para el intercambiador de calor con el pozo canadiense?
3. ¿Cuál es la carga térmica de la vivienda?
4. ¿Cuál es la diferencia económica en comparación con un sistema de climatización convencional?
5. ¿Cuál es la capacidad de refrigeración del sistema?

2.5 OBJETIVOS

A continuación, se presenta los objetivos generales indicando que se pretende con el trabajo y los objetivos específicos que indican los pasos que se seguirán para cumplir el objetivo general.

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el costo beneficio de un diseño de climatización con intercambiadores de calor por medio de un sistema de energía geotérmica en una vivienda situada en Quimistán Santa Bárbara Honduras.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Dimensionar y diseñar un sistema de climatización mediante el pozo canadiense en una casa en la residencial Green Valley.
2. Calcular la carga térmica en la casa por medio de un simulador
3. Calcular la capacidad de refrigeración del sistema de climatización mediante un pozo canadiense
4. Comparar el consumo energético de los dos sistemas de climatización en una casa en la residencial Green Valley Quimistán Santa Bárbara.
5. Realizar un análisis de factibilidad y evaluación de costo beneficio.

III. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se muestra varios conceptos, demostraciones, formulas, ilustraciones y ecuaciones que son esenciales para tener un mejor entendimientos y comprensión del tema.

3.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

A continuación, se presentan proyectos relacionados al tema ubicados en diferentes países, se menciona como funcionan y que materiales se usaron para su desarrollo, tomando en cuenta el macroentorno que son países de Europa como Inglaterra y Grecia

3.1.1 MACROENTORNO

Almacén de papel situado en Atenas Grecia:

El edificio Aggelidis es un almacén de papel ubicado en un sitio de 10.900 m², a 21 kilómetros del centro de Atenas. Se dividen en tres niveles: el sótano donde se encuentran el estacionamiento y la maquinaria central, el sótano del almacén de productos especiales la plataforma y la oficina (Santamouris, 2006).

Las técnicas de ahorro de energía, como los intercambiadores de calor tierra-aire, los parasoles y los parabrisas, y las bombas de calor VRV (volumen variable de refrigerante), combinadas con simples ventiladores de techo, se utilizan para el aire acondicionado en las oficinas. El intercambiador de calor de aires subterráneos consta de dos tuberías con un diámetro de 0.315 m, que están enterrados a 2 m de profundidad alrededor del edificio. Cada longitud es de 50 m. Están diseñados para proporcionar 4,500 [m³/h] de aire (velocidad del viento igual a 8 [m/s]). Desde noviembre de 2004, agente de liberación ha sido monitoreado para evaluar la efectividad de las tecnologías de ahorro de energía. (Santamouris, 2006).



Ilustración 3. Almacén de papel

Fuente: (Santamouris, 2006).

El uso de intercambiadores de calor de tierra-aire mantiene la temperatura interior dentro de un nivel confortable sin el uso de aire acondicionado. La Ilustración 4 muestra las temperaturas diarias máximas promedio de entrada y salida de uno de los intercambiadores de calor. (Santamouris, 2006)

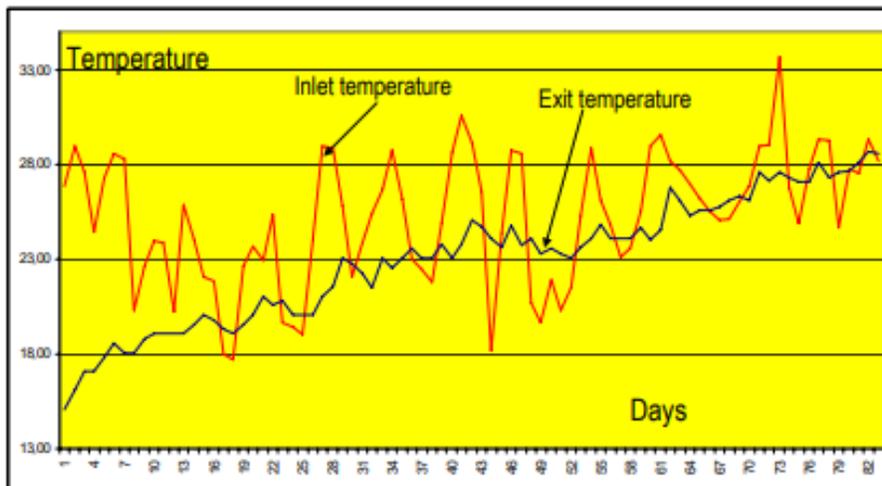


Ilustración 4. Temperatura de entrada y salida en verano

Fuente: (Santamouris, 2006)

como se muestra la temperatura promedio es cercana a 5 grados centígrados, usando un intercambiador de calor desde suelo hasta el aire, puede mantener la temperatura interior a un nivel cómodo sin usar un aire acondicionado (Santamouris, 2006).

La ilustración 5 muestra la distribución de temperatura dentro del almacén en verano

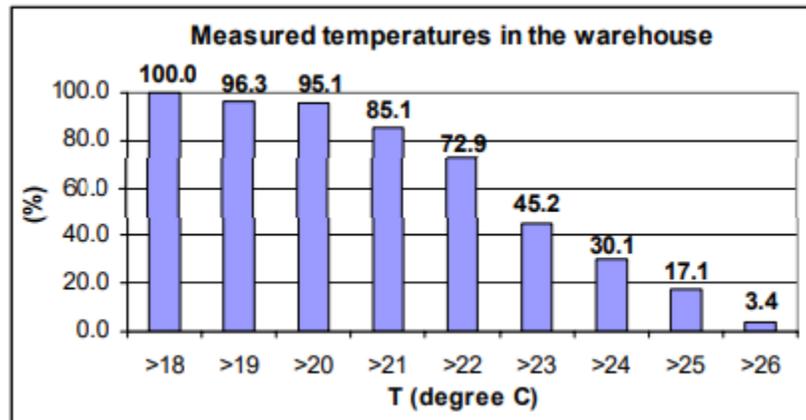


Ilustración 5. Distribución interior de temperatura en verano.

Fuente: (Santamouris, 2006).

Villa de Hay Riad (Rabat) Morrocó:

Se construyo un pozo canadiense en la villa de Hay Riad en Rabat. La instalación de la tubería se completó en una zanja de 70 cm de ancho y 2.5 m de profundidad en junio de 2010. La tubería utilizada es una tubería de PVC con un diámetro de 20 cm y una longitud de 6 m, basada en un lecho de arena de 20 cm (Touzani, 2015).

Teniendo en cuenta la temperatura ambiente, la temperatura externa del pozo canadiense y la temperatura interna del pozo canadiense, se realizaron pruebas para determinar el perfil de temperatura. En invierno, la temperatura ambiente en Villa de Hay Riad fluctúa en 8.5 C con un promedio de 11.6 C, mientras que el aire que ingresa a la casa fluctúa en 1.5 C, con un promedio de 17.1 C. el Aire ambiente y el rango de soplado van de 3.4 a 7 C. El valor mínimo se alcanza durante el día y el valor máximo se alcanza por la noche. en la temporada de invierno la diferencia en temperatura entre el aire ambiente y el air soplado dentro de 0 y 11 C. (Touzani, 2015).

En verano, la amplitud pico a pico de la temperatura ambiente es de 7 C, con un promedio de 3.6 C, mientras que el aire que entra a la casa fluctúa a 5.4 C y 1.64 C. la diferencia de temperatura entre el aire ambiente eleva la temperatura del aire de 0 a 8 C. (Touzani, 2015).

En Villa de Hay Riad, se estudiaron las temperaturas del suelo y las temperaturas de la atmosfera. Después de los resultados, se observó que la temperatura del suelo era más estable que la temperatura ambiente. A partir de 2 m de profundidad, la temperatura no cambio significativamente, y se llegó a la conclusión que 2 metros de profundidad es suficiente para cumplir con los requisitos del pozo canadiense (Touzani, 2015).

Se presenta en la tabla 2 con los resultados de las temperaturas de la atmosfera y temperaturas del suelo en la Villa Hay Riad:

Tabla 2. Temperatura del suelo y la atmosfera en Villa Hay Raid

Temperature	Minimum	Maximum	Average	Amplitude
Ambient Temperature	8.1	25.5	15.5	17.4
Temperature at -1,00 m	14.9	19.9	16.7	5
Temperature at -2,00 m	13.6	18.8	15.5	5.2
Temperature at -2,50 m	13.5	18.4	15.5	4.9

Fuente: (Touzani, 2015)

A continuación, se podrá mostrar acerca del principio y se podrá encontrar definiciones claves para el entendimiento de cómo funciona el pozo canadiense. Además, se mostrará que gracias a la energía geotérmica de baja entalpia se puede realizar su ciclo de funcionamiento.

3.2 ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica se refiere a la energía térmica de la tierra dentro de la tierra. También es un término para recopilar tecnologías para utilizar la energía térmica de la tierra con fines útiles. El término "propósito útil" generalmente significa convertir el calor en electricidad, pero algunos ingenieros también han encontrado formas de usar directamente el calor del suelo como calefacción hasta calentar el agua (Tabak, 2009).

La energía térmica de la tierra es enorme, pero los seres humanos solo pueden usar una pequeña parte de ella. Hasta ahora, el uso de esta energía se ha limitado a las condiciones geológicas que permiten un transporte para la transferencia del calor de las áreas profundas a la superficie o áreas cercanas, generando recursos geotérmicos. Sin embargo, en un futuro cercano, las tecnologías innovadoras pueden proporcionar nuevas perspectivas en este campo (Dickson & Fanelli, 2004).

Después de la Segunda Guerra Mundial, considerando que era económicamente competitivo con otras fuentes de energía, muchos países se sintieron atraídos por la energía geotérmica. No necesita ser importado y, en algunos casos, es la única fuente de energía local. Con los años, el uso de la energía geotérmica en los países en desarrollo ha mostrado tendencia interesante. "De 1984 al 2000, hubo un incremento de casi 150%. La geo termoelectricidad juega un rol bastante significativo en el balance energético de algunas áreas" (Dickson & Fanelli, 2004).

3.2.1 ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA

Mediante el uso de bombas de calor geotérmicas como tecnología de intercambio de calor, la energía geotérmica de baja entalpia está disponible para la climatización en hogares, edificios, oficinas y procesos industriales. (Carcel & Marquez, 2015).

Cualquier punto de la corteza terrestre puede usarse como fuente de energía porque la temperatura suele ser inferior a 25 grados centígrados. Incluso en los países nórdicos, la energía geotérmica se utiliza para la climatización. La temperatura del suelo subterráneo es cercana a 0 grados centígrados, alcanzado la bomba de calor geotérmica funciona bien cuando la temperatura cambia. la temperatura exterior es inferior a 0 grados centígrados. (Carcel & Marquez, 2015).

Si estudiamos la temperatura del suelo en diferentes épocas del año obtendremos el gráfico que se muestra a continuación en la ilustración 6 (Carcel & Marquez, 2015):

- En invierno, a medida que profundizamos, la temperatura va aumentando hasta alcanzar un valor fijo.
- En verano ocurre lo contrario; a medida que profundizamos la temperatura desciende.

- En primavera y otoño las variaciones son menores, llegando a alcanzar, en profundidad, el mismo valor.

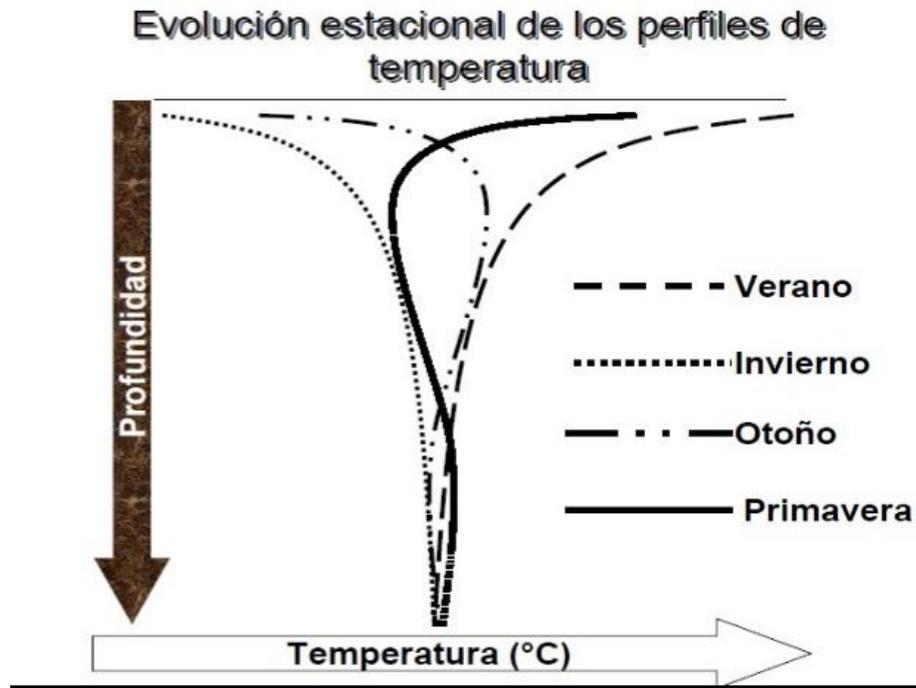


Ilustración 6. Gráfico temperatura terrestre

Fuente: (Montalvan, 2015).

Este hecho es muy importante porque significa a cierta profundidad, la temperatura del suelo subterráneo es constante y no tiene nada que ver con nuestra temporada anual, por supuesto, no tiene nada que ver con la hora del día o de la noche. Por lo tanto, a pocos metros de nosotros, tenemos energía constante durante todo el año y se puede usar en cualquier lugar. (Carcel & Marquez, 2015)

3.3 ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL FUNCIONAMIENTO DE UN POZO CANADIENSE

Según Ana maría (2012) en su tesis de máster cita: "La energía menos contaminante es la que no se usa". La energía renovable puede satisfacer las necesidades de energía eléctrica en los humanos. La pregunta es cómo usar, distribuir almacenar y transformar esta energía para minimizar el consumo de combustibles fósiles. Por lo tanto, lo principal al diseñar y construir

edificios hoy en día se utiliza sistemas pasivos para minimizar el consumo de energía con costos mínimos de energía renovable, pero nos centramos en uno de ellos. Simple y fácil de desarrollar, es una rama de la energía geotérmica. (Cabezas, 2012)

“Lo que se busca es aprender a usar eficientemente la energía. Usar eficientemente la energía significa no emplearla en actividades innecesarias, y conseguir hacer las tareas con el mínimo consumo de energía” El desarrollo de tecnologías y sistemas de ahorro de energía para la vida y el trabajo es la condición más importante para un desarrollo confiable, que se puede llamar desarrollo sostenible (Cabezas, 2012).

En la construcción, El intercambiador de calor son tubos de tierra-aire que se basan en el uso de energía térmica del suelo subterráneo para pretratar el aire de ventilación de los edificios. El aire así obtenido presenta un mayor logro en el confort térmico al obtener aire más cálido en climas fríos de lo habitual y obtener una temperatura más fresca en climas cálidos. En otras palabras, el propósito de este conducto es enfriar el aire que ingresa al edificio en verano y calentar el aire en invierno. en los últimos años, el uso de este sistema en la regulación térmica de edificios se ha expandido, es particularmente útil en invernaderos. Los datos muestran que en muchos casos el sistema puede ahorrar más del 45% de los requisitos de energía (Brunat y Escuer, 2010).

Estos sistemas se utilizan para regular directamente la temperatura interna del edificio. Las tuberías enterradas funcionan en sistemas cerrados y son especialmente adaptables, el principio se basa en el uso del suelo como fuente de calor. (Brunat y Escuer, 2010).

A continuación, un esquema representando el funcionamiento de pozo canadiense:

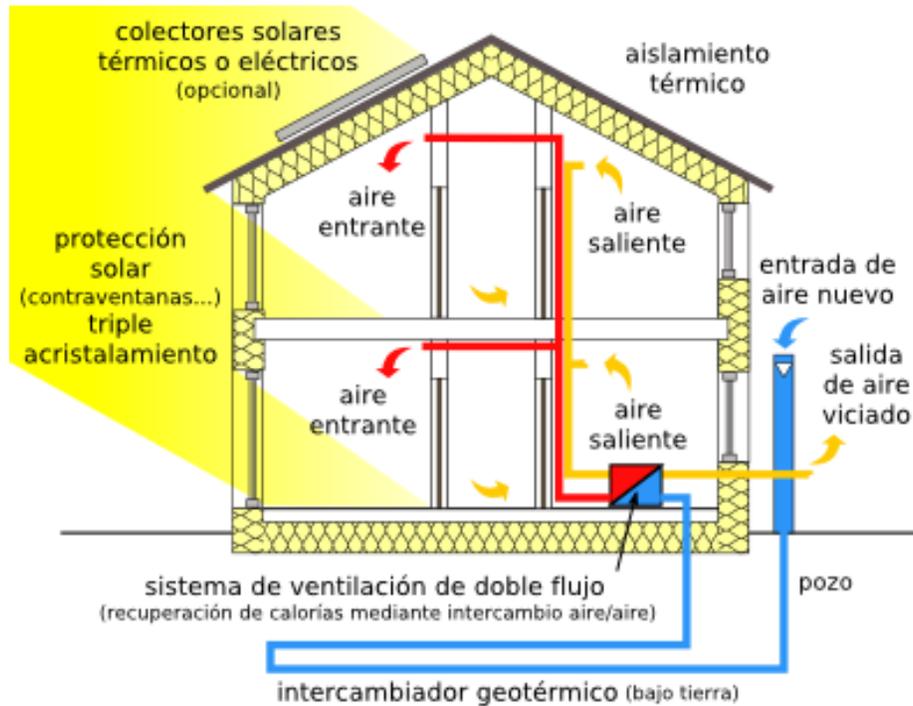


Ilustración 7. Esquema de funcionamiento

Fuente: (Victoria-Gastiez)

El estudio de la variabilidad mínima de la temperatura del suelo con una profundidad mayor de dos metros es la razón principal para implementar esta tecnología, que ajustara el aire a diferentes temperaturas según la temporada, es decir calefacción en invierno y enfriamiento en verano. Este proceso es más eficiente cuando el aire está relativamente seco." Tomando en cuenta la base de la utilización de los conductos enterrados como elementos de acondicionamiento ambiental, se encontró una posible solución a los problemas actuales. Aprovechar las características del suelo, es decir, su inercia térmica y su termodinámica de intercambio de calor" (Cabezas, 2012).

3.4 EL USO DEL SUELO- APROVECHAMIENTO DE LA INERCIA TÉRMICA

Los intercambiadores de tierra-aire se basan en una o más tuberías colocadas bajo tierra para suministrar aire de refrigeración en un edificio. El aire se usa para ventilación para reducir las ondas de energía y proporcionar suficiente confort térmico en el edificio. Para instalar un intercambiador de tierra-aire, se debe considerar la curva de temperatura subterránea. (Benrachi, Smaili, & Lamarche, 2017)

Hoy en día, los intercambiadores de tierra-aire y los pozos provenzales se pueden optimizar mediante el uso de equipos que pueden utilizar la inercia térmica diaria y estacional presente en el suelo subterráneo. Básicamente, es a través del llenado de tuberías u otras soluciones, mediante el uso de los materiales con buena capacidad térmica pueden evitar oscilaciones térmicas, en lugar de simplemente templarlas. El flujo de aire debe ser uniforme para el intercambio de calor. La mejor relación entre aire y materiales. (Hollmuller y Lachal, 2005).

Aunque la disponibilidad de esta fuente de energía ha sido declarada global, su rendimiento puede ser muy diferente dependiendo de la temperatura disponible. Obviamente, en términos de transferencia de calor de la tierra y capacidad de almacenamiento de la tierra, el comportamiento de la tierra determinara en gran medida el rendimiento de este uso de energía. (Santilli, 2014)

3.4.1 PROPIEDADES GEOTÉRMICAS DEL SUELO

La energía Isotérmica es la base para utilizar tuberías subterráneas como sistema de climatización porque permite que el suelo se use como sistema de intercambio de calor. Las características térmicas del suelo se ven afectadas por el contenido volumétrico de agua del suelo, la fracción de volumen de aire y la fracción de volumen de sólidos en el suelo, pero también está relacionado con la profundidad. Los estudios han demostrado que cuanto mayor es la profundidad, mayor es la temperatura (2000m-100 °C). En un sistema de tuberías subterráneas, puede ser profundidad maniobrable que mantiene el terreno a una temperatura constante durante todo el año. Una investigación realizada en Kusada (1965) en los Estados Unidos determino que las temperaturas de más de 2 metros de profundidad ya no tienen variabilidad y corresponden a la temperatura promedio anual (Baver, Gardner, & Gardner, 1991).

3.4.2 LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (λ):

La conductividad térmica de un sólido se obtiene al agregar la red y los elementos electrónicos. La conductividad térmica de los metales puros es mayor que la de cualquier componente electrónico, mientras que la conductividad térmica de los no metales se atribuye principalmente a la cristalización de los componentes de la red. (Cengel & Boles, 2012)

Las características de transferencia de calor de los materiales sólidos se miden mediante una característica llamada conductividad térmica k (o λ) en $[W/m^*K]$. Es una medida de la capacidad de una sustancia para transferir calor a través de un material a través de la conducción. Tenga en cuenta que la ley de Fourier se aplica a todas las sustancias independientemente de su estado (sólido, líquido o gaseoso), por lo que también se aplica a líquidos y gases (Connor, 2020).

3.4.3 ALTA CAPACIDAD CALORÍFICA

Es la característica térmica del suelo para almacenar calor, si cambia la temperatura, pero no la fase. La variación de rangos se define en la Tabla 1, pero se observa que es un buen acumulador de calor (Cuevas & Gonzalez, 2008).

Teniendo en cuenta estas dos características, se puede determinar que, a cierta profundidad, la penetración y el enfriamiento del suelo son ambos más lentos. En la tabla 1 se establecen los diferentes tipos de suelos versus la conductividad térmica y capacidad calorífica (Cabezas, 2012).

Tabla 3. Tipos de Suelo-conductividad térmica-Capacidad Calorífica

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

Fuente: (ATECYR, 2012)

Como se mencionó anteriormente, la masa del suelo tiene la capacidad de preservar la energía térmica recibida y liberarla gradualmente, es decir, tiene una gran inercia térmica. Por lo tanto, el suelo se utiliza como regulador de calor para edificios. Al comprender las características de suelo, el sistema se basa en un fenómeno físico, por lo tanto el aire puede pasar a través del dispositivo en este caso tubos en un solo momento, y su temperatura será adecuada según la época del año (Cabezas, 2012).

3.4.4 LEYES DE LA TERMODINÁMICA

A continuación, se muestra una descripción de las dos leyes de la termodinámica, que proporcionan un concepto básico para comprender el intercambio de calor entre el aire entrante a través de tuberías y tierra.

Primera ley: Es solo una expresión del principio de conservación de la energía, y afirma que la energía es una propiedad termodinámica. Según las observaciones experimentales, la primera ley de la termodinámica establece que la energía no puede generarse ni destruirse en el proceso. Solo puede cambiar de forma. Por lo tanto, cada energía (no importa su tamaño) debe justificarse en el proceso. (Cengel & Boles, 2012)

Se señala que, si el trabajo se completa en un sistema, o el intercambio de calor con otro sistema, entonces la energía interna del sistema cambiara. Desde otra perspectiva, la ley permite la definición del calor como la energía necesaria que el sistema debe intercambiar para compensar la diferencia entre el trabajo y la energía interna. La aplicación práctica de esta ley es el balance energético del sistema. Como se mencionó anteriormente, el calor es el tipo de energía involucrada en este equilibrio. Es decir, el calor es la energía que entra o sale del sistema debido a la diferencia de temperatura entre la pared del sistema y el medio ambiente (Cabezas, 2012).

Segunda Ley: Afirma que la energía tiene calidad, así como cantidad, y el proceso real ocurre cuando la calidad de la energía disminuye. También se puede utilizar para determinar los límites teóricos del rendimiento de los sistemas de Ingeniería comunes, como equipos térmicos y refrigeradores, y para predecir el grado de finalización de las reacciones químicas. Está asociada con el concepto de perfección, de hecho, define la perfección del proceso termodinámico, puede

usarse para cuantificar el nivel de perfección del proceso y señalar la dirección de eliminación efectiva de defectos. (Cengel & Boles, 2012)

3.5 DIFERENTES CONFIGURACIONES DEL SISTEMA

Varias compañías se especializan en el cálculo, implementación y mantenimiento de tales sistemas. La configuración del sistema de tuberías subterráneas que se implementara en el edificio depende de los requisitos del proyecto, a saber: su uso, la superficie a adaptar, el espacio disponible para colocar el sistema y el numero requiere calefacción y refrigeración, y desde el espacio hasta aire acondicionado. Después de analizar algunos proyectos, y teniendo en cuenta la descripción de REHAU de los diferentes tipos de configuraciones del sistema, se concluye con identificar con tres tipos diferentes de configuraciones de sistemas de tuberías subterráneas: tipo de bloque Techelmann (bloque-rejilla), distribución Techelmann (rejilla) y aislamiento directo (anillo). Estos tipos de distribución varían según el número y la distribución de los tubos horizontales (Cabezas, 2012)

3.5.1 DIRECTOS AISLADOS (ANILLOS)

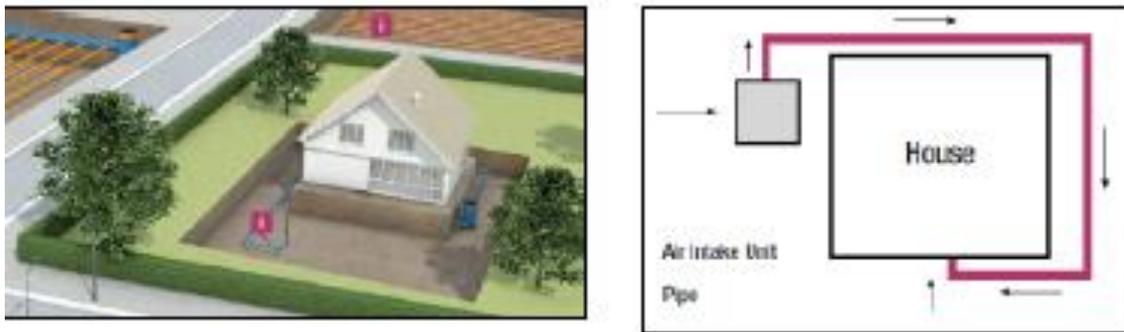


Ilustración 8. Distribución directos aislados

Fuente: (Cabezas, 2012)

Aplicaciones: Su mayor aplicación es en casas familiares y/o edificios pequeños. Sin embargo, se ha utilizado en escuelas, auditorios, naves industriales, etc. Este diseño se adopta porque es rentable y se puede ahorrar costos al usar trincheras existentes en lugar de volver a cavar (Diaz, 2018)

Características: Dado que el sistema utiliza un solo tubo como sistema de intercambio de calor, debe instalarse en un área grande. La profundidad de colocación varía entre 1.5 y 3 metros. Dependiendo del flujo de intercambiador necesario, el tubo puede tener un diámetro pequeño y/o un diámetro grande. El flujo de aire esta entre 150 y 300 [m³/h] (Diaz, 2018)

Sistema constructivo: Su instalación consta de uno o dos tubos, apunte a la sala central, el ventilador que impulsa todo el sistema se encuentra en la cámara central y luego se conecta directamente a la torre de salida de aire. La tubería puede ser de PVC con placa de acero (Diaz, 2018)

Este tipo se usa principalmente en casas unifamiliares o edificios pequeños. Aun así, el sistema puede usar cualquier tipo de construcción. El diseño es rentable, puede usar zanjas existentes para evitar excavar, instalar uno o dos conductos en el espacio al que se quiere climatizar, donde un ventilador impulsa el aire de todo el sistema. (Diaz, 2018)

3.5.2 DISTRIBUCIÓN TECHELMANN (REJILLA)

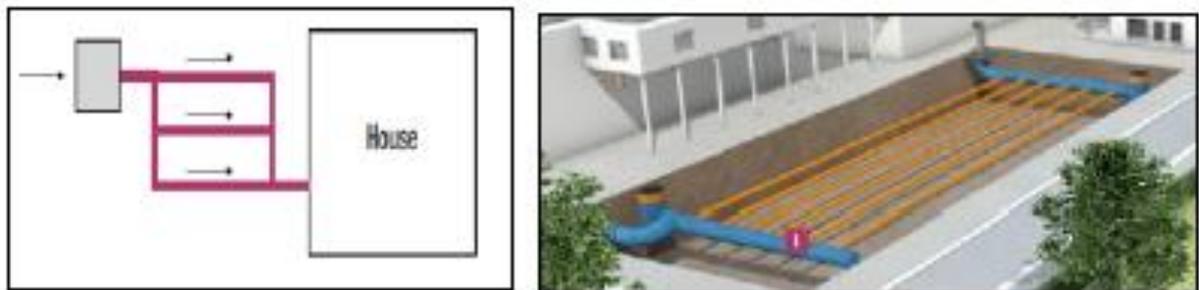


Ilustración 9. Distribución Techelmann (rejilla)

Fuente: (Cabezas, 2012)

Aplicaciones: se puede usar cuando la distribución aislada no es posible porque la longitud total de la tubería es muy grande debido a la necesidad de un mayor flujo, renovación y confort térmico (Cabezas, 2012)

Características: como su nombre lo indica, estos tubos se colocan en forma de rejilla y se conecta en forma de rejilla, se conectan a dos cámaras de aire (entrada y salida aire). El diámetro

de la tubería de admisión (capa superficial) es grande, mientras que el diámetro de la tubería enterrada generalmente es de 3 metros y el diámetro es pequeño para reducir la velocidad del fluido y maximizar el intercambio de energía. Se utiliza cuando el flujo de aire supera los 300 [m³/h] (Cabezas, 2012)

Sistema constructivo: Los materiales utilizados para el elevador (entrada y salida de aire) y los materiales que constituyen la rejilla varían de acuerdo con los requisitos del proyecto, pero generalmente pueden ser de PVC y/u hormigo. Estos tipos de sistemas son ubicados en un gran edificio, por lo tanto, tenga en cuenta que los canales de admisión y escape deben tener los siguientes sistemas: bombeo (a través de la penetración del suelo o condensación de la tubería). Los sistemas de tubería enterrada se deben usar junto con unidades de aire acondicionado y/o unidades de tratamiento de aire; el flujo de aire y la velocidad se pueden ajustar necesario, y también puede cumplir con los requisitos de construcción máximos que no se pueden cumplir solo a través de tuberías subterráneas (Cabezas, 2012)

3.5.3 BLOQUE TECHELMANN (BLOQUE-REJILLA)

El sistema combina los dos métodos anteriores, pero los implementa en el espacio. Limitado; por lo tanto, su sección transversal se construye como un bloque con múltiples capas de tubos. Cuando se diseña este tipo de sistemas, es fundamental analizar la inercia térmica de todo el módulo porque un diseño deficiente no permitirá un intercambio de calor suficiente del fluido (Diaz, 2018).

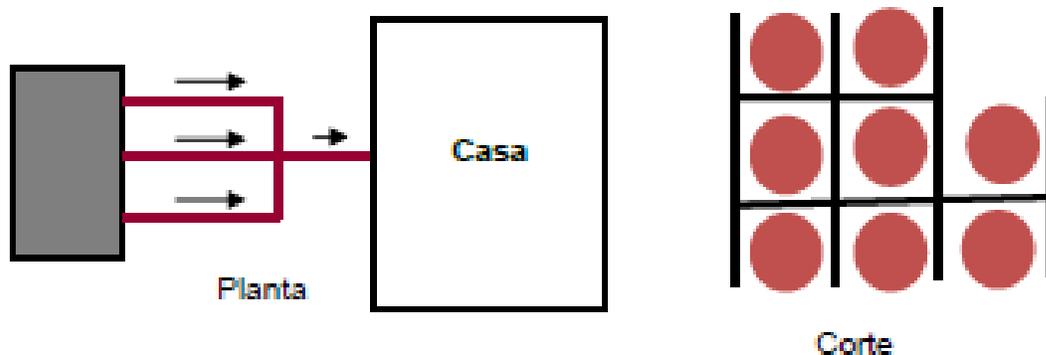


Ilustración 10. Tipo bloque Techelmann (bloque-rejilla)

Fuente: (Cabezas, 2012)

Aplicaciones: La primera aplicación del sistema es la renovación del aire, el enfriamiento en verano y el precalentamiento en invernaderos y los edificios de alimentación en invierno; pueden evitar la pérdida de cultivos y proporcionar mejores condiciones para los animales, mejorando así la salud y la productividad, actualmente siempre que los requisitos de flujo o temperatura sean bajos y superficie de montaje limitada (Diaz, 2018)

Características: debido a su configuración, casi no requiere espacio de instalación. La profundidad de instalación es de entre 1.5 y 2 metros. En algunos casos, utiliza un pequeño extractor para la circulación del aire, lo que reduce el consumo de energía (Cabezas, 2012).

Sistema constructivo: Las tuberías se instalan en diferentes capas, estas se incrustan en el relleno. Este relleno debe ser fuerte y puede estar hecho de concreto, como el suelo mismo. El sistema tiene una cámara de admisiones de aire en un extremo donde se ubican los filtros de ventilación e insectos para el suministro de aire, y el otro extremo es la salida. (Cabezas, 2012)

3.6 ELEMENTOS DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Algunos elementos comunes que constituyen un sistema de tuberías enterradas, y diferentes configuraciones diseñadas de acuerdo con el tipo de edificio a ser ajustado. Teniendo en cuenta los diferentes sistemas de conductos de aire y su dependencia del país, el tipo de clima, el tipo de ambiente y el tipo de vivienda a regular, la mayoría de ellos consisten en lo siguiente: (Cabezas, 2012).

Torre de entrada de aire (toma de aire): el aire exterior es aspirado al intercambiador de aire-tierra a través de la torre de succión. Por defecto se utiliza un filtro grueso o un filtro fino para purificar previamente el aire aspirado. La mayoría de las partículas sólidas y el polen se retienen, minimizando así la contaminación del tubo de intercambio geotérmico (Cabezas, 2012)



Ilustración 11. Torre de entrada

Fuente: (Cabezas, 2012).

Colector: se encuentra detrás de la torre de aspiración y distribuye el aire entre los tubos transversales. Este componente solo es necesario si hay más de un tubo enterrado; de lo contrario, el sumidero está directamente conectado al tubo (Diaz, 2018)



Ilustración 12. Colector

Fuente: (Cabezas, 2012)

Extractor de ventilación: En edificios con bajos requerimientos de calor, es suficiente instalar un ventilador que pueda mantener una velocidad y flujo de viento constante (Diaz, 2018).



Ilustración 13. Extractor de ventilación

Fuente: (Cablematic)

Conductos: en los conductos se pueden utilizar diversos tipos de plástico (PVC, polipropileno, etc.) hormigón pretensado, cerámica, tubos metálicos galvanizados, etc. El material debe ser suficientemente resistente al aplastamiento cuando el tubo sea enterrado. Los tubos corrugados presentan una mayor resistencia estructural pero también mayor impedimento al flujo y mayor posibilidad de haya encharcamiento del agua de condensación (Brunat y Escuer, 2010).

A continuación, se presenta los materiales que se pueden usar en los conductos con su respectiva conductividad térmica .

Tabla 4. Materiales y su conductividad térmica.

<i>Material</i>	<i>Conductividad térmica (W/mK)</i>
PVC	0,17
Polipropileno	0,22
Hormigón pretensado	0,97 - 1,9
Cerámica	0,85 - 1,3
Tubo metálico galvanizado	50

Fuente: (Diaz, 2018)

Se habla al fin y al cabo de la tubería enterrada. La longitud y el diámetro de este conducto va a poder ser de diferentes tamaños en funcionalidad de puntos como la profundidad y la naturaleza del terreno, capacidad del elemento que succiona el aire, las pretensiones térmicas que se necesiten, etc. De vital importancia es la naturaleza del lote y de su transmisividad de calor (capacidad del suelo para comunicar calor a otro cuerpo). Entre otras cosas, los pisos arenosos secos emiten peor calor que los arcillosos, ademan la humedad del suelo es primordial debido a que el suelo empapado de agua, independientemente de su estructura, va a tener una capacidad de comunicar calor debía a que el agua por si sola la tiene. (EspacioEco, 2016)

Cuanto más grande sea la longitud del tubo más transferencia térmica aire-tierra se va a producir. Los valores más usados oscilan entre los 10 y los 100 metros de longitud. Para l diámetro de la tubería los valores sugeridos oscilan entre los 20 y los 40 cm de diámetro. (EspacioEco, 2016).



Ilustración 14. Sistema de conducto

Fuente: (Cabezas, 2012).

3.7 PRINCIPIO DE FUNDAMENTO

Los sistemas de calefacción y refrigeración por separado se utilizan con mayor frecuencia para mantener esta temperatura, y la energía utilizada suele ser electricidad, combustibles fósiles o energía de biomasa (Touzani, 2015).

En comparación con otras fuentes de energía que deben transportarse a largas distancias, la ventaja de la energía del suelo es que se puede obtener en grandes cantidades en el sitio. Dado que la tierra transfiere calor gradualmente y tiene una gran capacidad de almacenamiento de calor, la temperatura del suelo cambia lentamente de acuerdo con la profundidad medida, que es de varios meses o incluso años. Por lo tanto, debido a la baja conductividad térmica del suelo, el suelo puede transferir parte del calor a la temporada de calentamiento. El calor absorbido por el suelo en verano se usa realmente en invierno. Este ciclo de intercambio anual y permanente entre la temperatura del aire y del suelo crea un potencial de intercambio de calor que puede usarse para calentar o enfriar edificios. (Touzani, 2015).

Para definir el sistema de tuberías subterráneas, se ha determinado que el balance de calor de cada cantidad controlada (la pérdida de calor del aire/ calor obtenido del suelo es igual al calor/ pérdida del suelo) puede predecir la salida de temperatura del edificio. El aire que ingresa a la casa y parte de la casa (para ventilación y penetración), es decir, el flujo que ingresa a través de la tubería (Brunat y Escuer, 2010).

Con la ayuda de un sistema de impulsos, el aire que ingresa a la tubería a través de una entrada de aire debidamente protegida circula a través del sistema de tuberías subterráneas. Distribuyendo por toda la habitación para que tenga aire acondicionado para garantizar porque todo el edificio proporcione aire nuevo. Uno de los mayores problemas con este sistema es la condensación, pero ahora se ha mejorado. Además de optimizar la regulación térmica mediante la distribución de aire a cada parte o volumen individual, así como el manejo adecuado del nivel de sonido del aire soplando en el pozo (Brunat y Escuer, 2010)

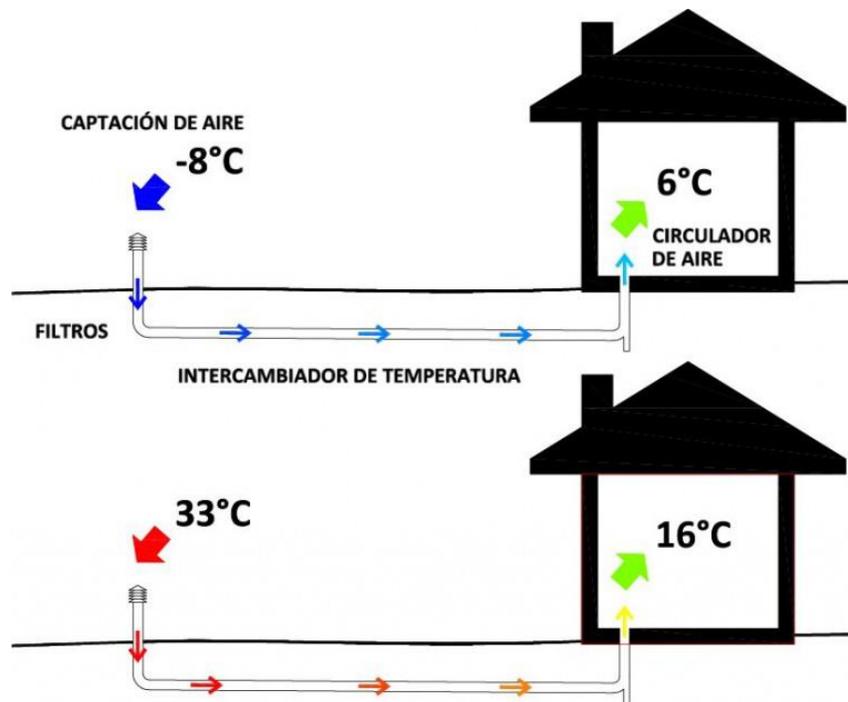


Ilustración 15. Intercambiador de Temperatura

Fuente: (Arquitrust,2016)

3.7.1 MANTENIMIENTO

Las tareas de mantenimiento están diseñadas para mantener el funcionamiento normal de las instalaciones y lograr la vida útil del edificio sin reparaciones importantes. Para reducir el trabajo de mantenimiento y evitar que entren partículas dañinas en la tubería de intercambio, estas partes son las que deben limpiarse con más frecuencia, que es la lógica de frecuencia cada dos semanas (Diaz, 2018).

A pesar del establecimiento de un sistema de drenaje en las tuberías subterráneas, el agua condensada aún puede causar la aparición de bacterias y mohos, y pueden causar mal olor en el espacio interior. Por lo tanto, es necesario limpiar el conducto de aire cada seis meses, lo que coincide aproximadamente con los cambios estacionales. Los productos especiales y el agua desinfectante drenada a través del sistema de drenaje deben usarse para la limpieza. También se debe considerar que las condiciones meteorológicas son propicias para garantizar un secado

rápido y evitar la aparición de nuevos mohos. Para este trabajo, es importante permitirnos acceder a los registros en todos los puntos de instalación independientemente del diámetro (Díaz, 2018).

Otra tarea de mantenimiento es reemplazar el ventilador o sistema de suministro de aire. Este caso, su frecuencia es muy baja porque debe reemplazarse al final de su vida útil cada 15 o 20 años (Díaz, 2018).

3.8 CLIMA EN HONDURAS

Honduras se ve afectada por fenómenos meteorológicos en regiones tropicales, latitudes medias y regiones polares, que pueden clasificarse según la escala local, la meso escala, el clima y la escala global, formando así diferentes zonas climáticas. Se producen diferentes épocas del año porque la temporada de empuje polar o frente frío se manifiesta estadísticamente entre los meses de noviembre y marzo, lo que resulta en fuertes lluvias debido a la topografía de la costa norte. Entre junio y noviembre, el país se ve afectado por ciclones tropicales, con efectos directos e indirectos (Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra IHCIT, 2012).

La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) tiene efectos indirectos o indirectos entre septiembre y octubre, a veces está regulada por el paso de las olas tropicales. Esto provoca fuertes lluvias principalmente en las regiones sur, central, suroriental y occidente (Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra IHCIT, 2012).

En la siguiente imagen se muestra la temperatura promedio del país

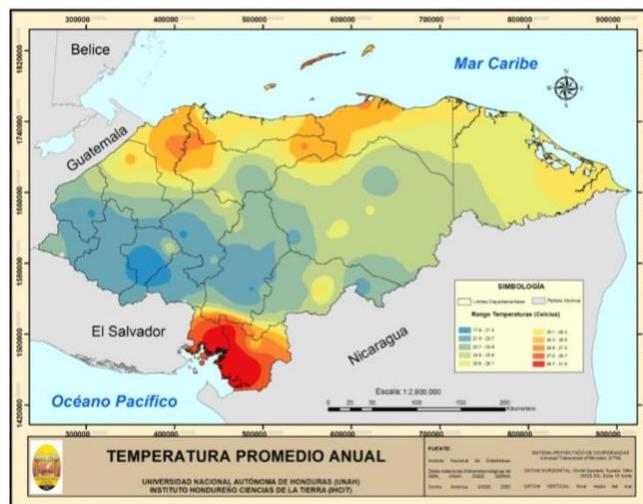


Ilustración 16 Temperatura promedio anual en Honduras

Fuente: (Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra IHCIT, 2012).

El brillo del sol representa el tiempo total que la luz solar directa cae en algún lugar. El número total de horas de luz solar en un lugar es uno de los factores que determinan el clima de la ciudad (Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra IHCIT, 2012).

A continuación, se muestra un mapa que muestra el brillo solar promedio anual para el país.

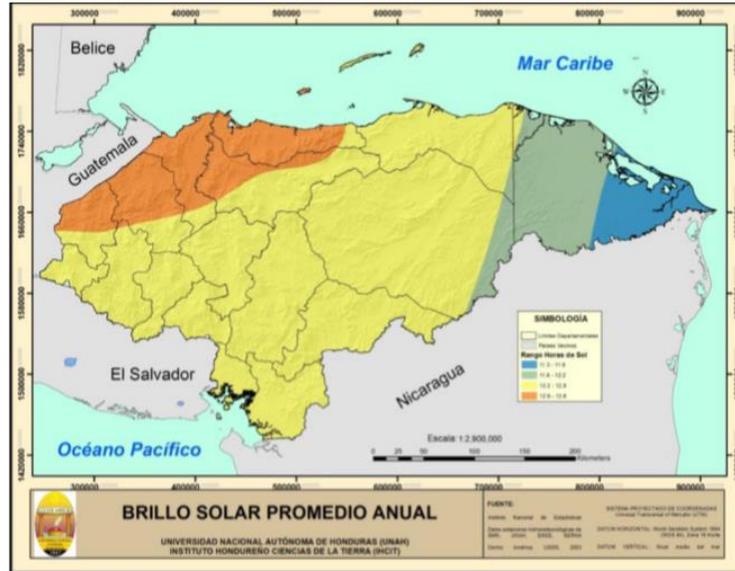


Ilustración 17. Brillo solar promedio anual

Fuente: (Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra IHCIT, 2012)

3.9 TIPO DE SUELO EN SANTA BARBARÁ

El suelo de Naranjito Santa Barbará es un suelo profundo y bien drenado formado en pizarra y piedra caliza en capas, En la temporada de lluvias en el noroeste del país, especialmente en las provincias de Santa Barbara y Copan hay algunas areniscas y conglomerados inclusiones. Casi todas las áreas de este suelo están a menos de 1,200 metros sobre el nivel del mar (Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, 1969).

El suelo superficial con una profundidad de aproximadamente 20 cm es suelo arcilloso a suelo arcilloso pardo oscuro, frágil bajo diferentes condiciones de humedad, solo adhesión moderada y plasticidad bajo humedad, la profundidad es entre 75 y 100 cm es franco a arcilloso, pardo a pardo amarillento. (Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, 1969).

3.10 EL USO DEL SUELO COMO INTERCAMBIADOR DE CALOR

El intercambiador de calor de tierra-aire consta de tuberías enterradas y un sistema de circulación, que hace que el aire atraviese las tuberías y finalmente lo mezcla con el aire interior del edificio o invernadero. El modelo de simulación detallado del rendimiento térmico de los intercambiadores de calor de tierra-aire se basa en un algoritmo que describe la transferencia simultánea de calor y masa en el suelo a temperaturas gradientes esto definiéndolo como la variación de temperatura con la profundidad y se mide en C/km. Sin embargo, la mayoría de los primeros modelos implican flujos de calor axialmente simétricos en el suelo, sin considerar la estratificación térmica natural del suelo. (Mihalakakou, Santamouris, & Asemakopoulos, 1994).

En verano, la temperatura promedio del suelo es mucho más baja que el aire ambiente, mientras que en el invierno es más alta. El valor exacto de la temperatura del suelo es una función de la profundidad, las características térmicas del suelo, especialmente su difusividad térmica y la temperatura de la superficie (Santamouris, 2006).

El intercambiador de calor tierra- aire es horizontal y la tubería está enterrada a cierta profundidad. El aire circula en el conducto (en la mayoría de los casos con ayuda mecánica), debido a la baja temperatura del suelo, su temperatura se reduce. El aire frío se introduce en el interior del edificio para reducir la temperatura interior (Santamouris, 2006).

La temperatura del suelo a cualquier profundidad puede ser predicha usando la ecuación 1 dada a continuación.

$$T_{z,t} = T_m - A_s e^{-3\sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}z} \cos\left(\frac{2\pi}{365}\left(t - t_0 - \frac{z}{2}\sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}}\right)\right)$$

Ecuación 1. predicción de la Temperatura del suelo

Fuente: (Santamouris, 2006).

Donde:

T_m es la temperatura media anual de la superficie del suelo (°C)

A_s es la amplitud de la variación de temperatura superficial (°C) (cambio de temperatura entre día y noche)

z es la profundidad (m)

α es la difusividad térmica del suelo (m² / días)

t es el tiempo transcurrido desde el comienzo del año calendario (días)

t_0 es una constante de fase (días desde el comienzo del año de la temperatura media más baja de la superficie del suelo).

3.10.1 DIFUSIVIDAD TÉRMICA

La difusividad térmica es el valor de la conductividad térmica dividido por producto de la densidad aparente del material y su capacidad térmica. Se expresa en m²/s

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho C}$$

Ecuación 2. Difusividad Térmica

Fuente: (Pahud, 2002)

Es el valor más importante al determinar el tamaño del sistema de intercambio de calor, ya que representa la tasa de cambio de la temperatura y el flujo del material antes de alcanzar el equilibrio. De esta manera, cuanto mayor es la velocidad de difusión, más corto es el tiempo para alcanzar el equilibrio (Diaz, 2018).

3.10.1 DIMENSIONAMIENTO

Después de comprender el funcionamiento del pozo canadiense, debemos de conocer las dimensiones de la tubería. El cálculo y la selección correcta de medidas y materiales significaran mejores resultados de tratamiento de aire y ahorros económicos considerables (Amitrano, 2006)

Debemos elegir el diámetro del conducto. Entre las opciones nosotros elegimos el diámetro correcto. El diámetro está estrechamente relacionado al caudal de aire que debemos climatizar. Para estructuras pequeñas, podemos usar un diámetro de aproximadamente 20 cm, y no se recomienda usar un diámetro más pequeño, porque para mantener la velocidad del aire, necesitamos muchos conductos, por lo que el intercambio de calor con la capa más cercana al centro del tubo no se puede realizar correctamente. Mediante cálculos detallados, siempre que se garantice el flujo de calor, se puede aumentar el diámetro. Normalmente, podemos medir la distancia entre 20 y 40 cm (Amitrano, 2006)

en la siguiente grafica se puede observar el cambio de temperatura respecto al diámetro.

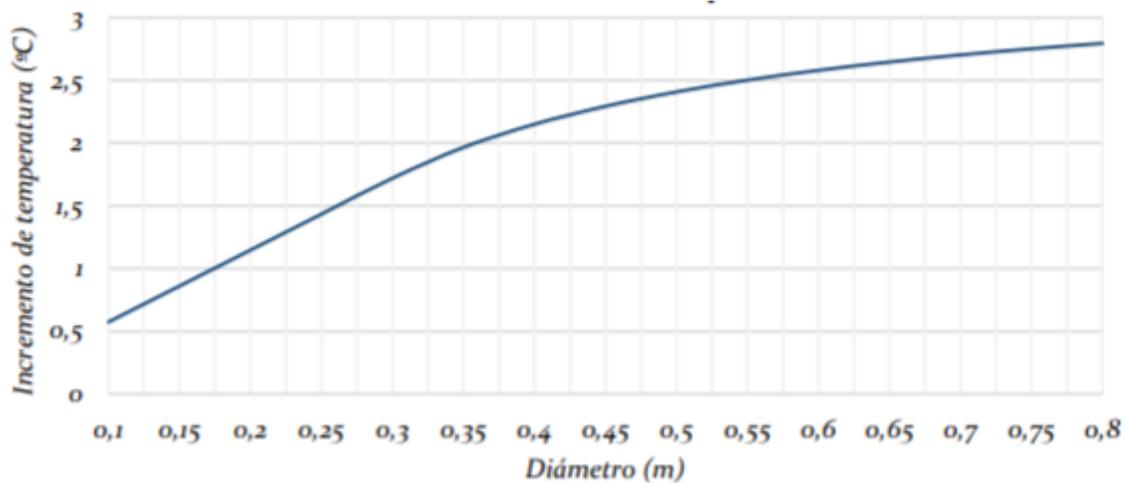


Ilustración 18. Variación del incremento de temperatura con el diámetro

Fuente: (Diaz, 2018)

El siguiente aspecto que deberíamos obtener es el grosor de la pared de la tubería. En este caso cuanto menor es el grosor de la pared, mayor es el intercambio de calor con el suelo. Idealmente, debería actuar como una membrana delgada, pero la tubería debería de soportar la tensión vertical y horizontal del terreno circundante. De esta manera, el espesor más adecuado será el espesor mínimo suficiente para soportar la carga. En este caso, el valor indicado no se puede dar porque depende del material utilizado. (Amitrano, 2006)

A continuación, se presenta una gráfica con la variación del incremento de temperatura respecto el espesor.

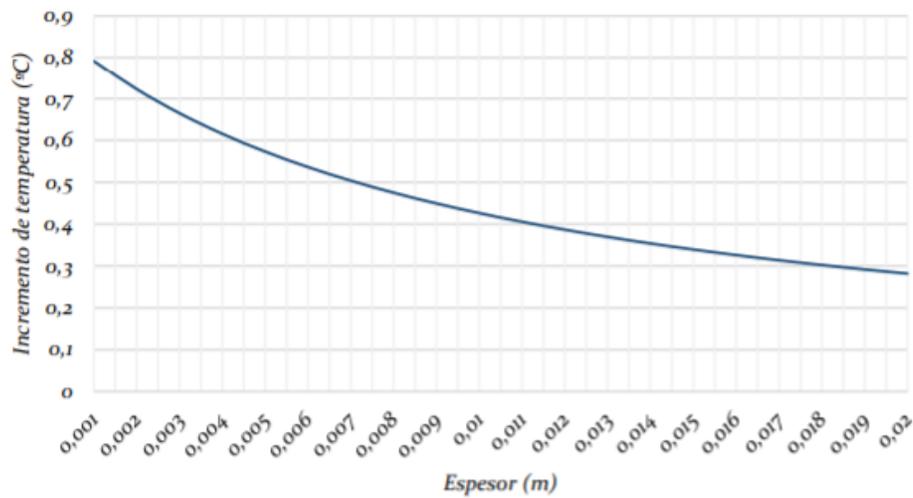


Ilustración 19. variación del incremento de temperatura respecto al espesor.

Fuente: (Diaz, 2018)

3.11 CÁLCULOS DEL SISTEMA

Para la velocidad del aire, debemos establecer un punto intermedio entre bajas velocidades, lo que producirá un gran intercambio de calor. La alta velocidad nos permite trabajar a un caudal más alto, pero con menos flujo de calor (Diaz, 2018).

Cálculo de caudal que pasa por el conducto:

$$q_t = A \cdot v$$

Ecuación 3. Caudal

Fuente: (Hudson, 1997)

$$A = \pi \cdot \left(\frac{DN}{2}\right)^2$$

Ecuación 4. Área transversal del conducto

Fuente: (Hudson, 1997)

Donde:

A= área transversal del conducto (m²)

v= velocidad (m/s)

DN= diámetro nominal

Para calcular la longitud del ducto de la tubería debemos de obtener el flujo de calor medio y la energía que debemos eliminar, lo primero que debemos de hacer es calcular la temperatura media del aire mostrada a continuación.

$$T_{ma} = \frac{T_{entrada} + T_{salida}}{2} = \text{°C}$$

Ecuación 5. Temperatura media del aire.

Fuente: (Pahud, 2002)

T_{ma}= Temperatura media del aire

T_t= Temperatura del terreno

Luego de obtener la temperatura media del aire se debe realizar la resistencia térmica del conducto:

$$R = R_{conducción} + R_{convección} = m^2K/W$$

Ecuación 6. Resistencia térmica del conducto.

Fuente: (Peiretti, 2017)

$$R_{conducción} = \frac{e}{\lambda} = m^2K/W$$

Ecuación 7. Resistencia de conducción

Fuente: (Peiretti, 2017)

Donde:

e= Relación del espesor

λ= conductividad

$$R_{conducción} = \frac{1}{5.55 \cdot v^{0.8}} = m^2K/W$$

Ecuación 8. Resistencia por convección

Fuente: (Peiretti, 2017)

Donde:

v= velocidad en m/s

Cuando se obtiene los datos de la temperatura media del aire y los datos de la resistencia térmica del conducto se puede obtener el flujo de calor medio por unidad de superficie (φ_m)

$$\varphi_m = \frac{(T_{ma} - T_{terreno})}{R} = W/m^2$$

Ecuación 9. Flujo de calor medio por unidad de superficie.

Fuente: (Pahud, 2002)

Cálculo de la energía que debemos de eliminar del aire (E_e):

$$E_e = \left(\frac{i}{V_e}\right)_{entrada} - \left(\frac{i}{V_e}\right)_{salida} = Ws/m^3$$

Ecuación 10. energía eliminada

Fuente: (Pahud, 2002)

Donde:

E_e = energía eliminada

i= es entalpia KJ/Kg

V_e = volumen especifico

Superficie de intercambio necesario:

$$S = \frac{E_e \cdot q_t}{\varphi_m} = m^2$$

Ecuación 11. Superficie de intercambio necesaria.

Fuente: (Pahud, 2002)

Por último, obtenemos la longitud del conducto, según Diaz a mayor longitud hay un mayor intercambio en el aire y a medida que el aire avanza las temperaturas del aire y del terreno se acerca (Diaz, 2018).

$$L = \frac{S}{\pi \cdot D} = m$$

Ecuación 12. Longitud del ducto

Fuente: (Pahud, 2002)

3.11.1 CALCULO DE CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN

Existe una fórmula para calcular la capacidad de enfriamiento. La fórmula tiene tres componentes necesarios para completar el cálculo. Dos de los componentes se miden en campo y el tercero es un multiplicador que se agrega al final de la formula. (Richardson , 2015)

$$CFM \cdot \Delta H \cdot 4.5 = BTU \text{ de enfriamiento}$$

Ecuación 13. Cálculo de capacidad de refrigeración

Fuente: (Richardson , 2015)

Cauda: La primera métrica requerida es en CFM. Se requieren mediciones del caudal para complementar la formula, las mediciones del caudal se pueden tomar desde el equipo, el suministro total de aire entregado al edificio o el caudal entregado a una habitación individual donde el cliente tiene problemas de comodidad. (Richardson , 2015)

Cambio de temperatura: La segunda métrica requerida en la fórmula es el cambio de temperatura en todo el dispositivo o sistema. Esta conversión se realiza utilizando una tabla de entalpía o una calculadora psicrométrica. Una vez que se obtienen las lecturas de entalpía, se restan entre sí para determinar el incremento H o ΔH . . (Richardson , 2015)

Constante: El multiplicador para la fórmula es 4.5 se basa en el peso de aire estándar (0.075 libras de aire por CFM) X minuto (60) dentro de una hora. . (Richardson , 2015)

3.12 COSTO BENEFICIO

El análisis de costo-beneficio es una herramienta financiera utilizada para medir la relación entre los costos y los beneficios asociados con los proyectos de inversión, como la creación de la nueva empresa o el lanzamiento de un nuevo producto para comprender su rentabilidad. (Komiya, 2019).

Mide principalmente la relación costo-beneficio (B/C), también conocida como índice de beneficio neto, que es el valor actual del ingreso neto total o ingreso neto dividido por el cociente.

(VAI), entre el valor presente del costo de inversión o el costo total del proyecto (VAC). La relación costo-beneficio de un proyecto de inversión nos permite conocer su rentabilidad, por lo que, por ejemplo, podemos saber si el proyecto es factible y que tan atractivo es en comparación con otros proyectos (Komiya, 2019).

La fórmula de la relación costo-beneficio es:

$$\frac{B}{C} = \frac{VAI}{VAC}$$

Ecuación 14. Relación Costo-Beneficio

Fuente: (Komiya, 2019)

Donde:

- I. B/C: relación costo-beneficio
- II. VAI: valor actual de los ingresos totales netos o beneficios netos.
- III. VAC: Valor actual de los costos de inversión o costos totales.

Para obtener una conclusión sobre la viabilidad del proyecto, bajo este método, uno debe considerar comparar la relación B/C con 1, así tenemos lo siguiente:

- I. Un B/C mayor que 1 significa que el proyecto es rentable.
- II. Un B/C igual o menor que 1 significa que el proyecto no es rentable.

3.12.1 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El valor presente neto es un estándar de inversión que incluye la actualización del método de cobro o pago de un proyecto o inversión para comprender cuanta ganancia o pérdida generara la inversión. Se utiliza para evaluar las opciones de inversiones. porque al calcular el valor presente neto de diferentes inversiones podemos obtener mayores ganancias. (Velayos, 2017).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Ecuación 15. Valor actual neto

Fuente: (Velayos, 2017).

Donde:

F_t = son los flujos de dinero en cada periodo t

I_0 = es la inversión realizada en el momento inicial (t=0)

n= es el número de periodos del tiempo

k= tipo de interés

3.12.2 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que proporciona la inversión. En otras palabras, es el porcentaje de la ganancia o pérdida de la inversión en la cantidad no extraída del proyecto. Esta es una métrica utilizada para evaluar proyectos de inversión, y está estrechamente relacionada con el valor actual neto (VAN). Para un proyecto de inversión dado, también se define como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. (Sevilla, 2017).

TIR es la tasa de descuento, que es igual al flujo de cobro futuro y el flujo de pago en el momento inicial, lo que resulta en un VAN igual a cero:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

Ecuación 16. Tasa interna de Retorno.

Fuente: (Sevilla, 2017)

IV. METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la metodología empleada para lo que es el desarrollo de la investigación. En este apartado se describe los pasos de trabajo desarrollado para la obtención de datos, su análisis e interpretación. Se plantea el enfoque, las variables de investigación, la hipótesis, los procedimientos y la validación.

4.1 ENFOQUE

El tema de investigación tiene un enfoque mixto. Este proyecto de investigación será cuantitativo ya que se busca identificar el costo beneficio de un diseño de climatización mediante un pozo canadiense, comparando costos con un sistema de climatización convencional, también será cualitativo ya que busca la calidad de las dos tecnologías, como están trabajan y cuáles son los beneficios de cada una.

4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

A continuación, se muestra las variables de investigación las cuales se dividen en variables independientes y variables dependientes:

4.2.1 VARIABLE DEPENDIENTE

La variable dependiente es aquella que cambian conforme a las variables independientes. La variable dependiente de la investigación es costo beneficio la cual es una herramienta que mide la relación entre los costos y beneficios de un proyecto.

4.2.1 VARIABLES INDEPENDIENTE

Las variables independientes son las que cambian o son las que se controlan para estudiar los efectos en la variable dependiente. Los factores que se encuentran dentro de la investigación se muestran en la siguiente Ilustración.



Ilustración 20. Diagrama de variable de investigación

Fuente: (Elaboración propia).

Se detallan las variables independientes:

Ahorro: el ahorro tiene un impacto positivo para el costo beneficio ya que entre más ahorros se logren obtener con el proyecto es mejor para la persona que hace la inversión, podría ser un ahorro en materiales y en el costo de la tarifa eléctrica.

Tarifa eléctrica: en Honduras la tarifa energética cada año va en aumento esto dando un beneficio positivo hacia el costo beneficio de la investigación ya que por el mismo consumo de energía se pagaría cada año más. A continuación, se muestra una ilustración con el historial de tarifas desde el 2016 hasta la actualidad.

Fecha de Resolución	Residencial (menor a 50 kWh)	Residencial (mayor a 50 kWh)	Baja Tensión	Media Tensión	Alta Tensión
mayo de 2016	1,4588	3,6051	3,9370	2,3989	2,2441
julio de 2016	1,4588	3,6051	3,9370	2,3989	2,2441
noviembre de 2016	1,4911	3,6848	4,0315	2,4603	2,2961
marzo de 2017	1,6217	4,0073	4,3197	2,7159	2,5487
mayo de 2017	1,6214	4,0065	4,3114	2,7068	2,5401
agosto de 2017	1,6137	3,9871	4,2884	2,6914	2,5269
diciembre de 2017	1,6210	4,0051	4,3140	2,7133	2,5472
marzo de 2018	1,6427	4,0588	4,3140	2,7133	2,5472
junio de 2018	1,6776	4,1450	4,3140	2,7299	2,5472
septiembre de 2018	1,8889	4,6671	4,7928	3,1611	2,9417
diciembre de 2018	3,6430	4,7404	4,7373	3,0883	2,8755
marzo de 2019	4,0274	5,2406	5,3266	3,4056	3,1710
julio de 2019	3,9728	5,1696	5,2364	3,4006	3,1601
octubre de 2019	3,8678	5,0330	5,1195	3,2387	2,9952
diciembre de 2019	4,0088	5,2164	5,1945	3,3617	3,1463
abril de 2020	3,3926	4,4147	4,4366	2,6824	2,4985

Ilustración 21. Historial de tarifas

Fuente: (CREE, 2020)

Profundidad de excavación: la profundidad que se puede excavar para colocar los tubos que estarán bajo tierra, dependerá de las condiciones del suelo, si se requiriese una excavación más profunda se tendría más gastos o si el terreno no está apto para la excavación no se podría realizar el proyecto teniendo así un impacto negativo para el costo beneficio.

Flujo de aire: el flujo de aire puede ser positivo para el costo beneficio si este está en óptimas condiciones y si esta entre los parámetros indicados para una correcta ventilación sin mucho esfuerzo el aire podrá circular dentro de la casa sin ayuda de otros materiales.

Operación y Mantenimiento (O&M): la operación y mantenimiento se realiza en un cierto tiempo determinado, tiene lugar frente a una falla o simplemente suciedad de los equipos. En la investigación esto impacta negativamente el proyecto ya que el mantenimiento de los tubos subterráneos puede ser dos veces al año para la circulación de aire más limpio adentro de la vivienda.

Vida útil: la vida útil de un proyecto se refiere al tiempo durante el cual se espera que funcione el proyecto, durante este tiempo se espera que se encuentren beneficios para esté. Entre más tiempo de vida útil tenga el proyecto tendrá un impacto positivo para el costo beneficio.

4.3 HIPÓTESIS

A continuación, se presenta la hipótesis de la investigación y la hipótesis nula

4.3.1 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Las viviendas en la colonia Green Valley en Quimistán, Santa Bárbara con un sistema de climatización por medio de un pozo canadiense con tubería PVC tienen un costo beneficio mayor a 1 con respecto al ahorro de no utilizar un sistema de climatización convencional.

4.3.1 HIPÓTESIS NULA

Las viviendas en la colonia Green Valley en Quimistán, Santa Bárbara con un sistema de climatización por medio de un pozo canadiense con tubería PVC tienen un costo beneficio menor a 1 un costo beneficio de un sistema de climatización convencional.

4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

En esta sección se obtiene el resumen de todas las herramientas, técnicas e instrumentos que se utilizaron. Para el desarrollo de la investigación, se utilizó la web para encontrar artículos, libros y sitios de internet para realizar búsquedas de información relevante en el tema de investigación respectivo.

Las herramientas que se utilizaron para la investigación son las siguientes:

1. **Sketchup:** Es una herramienta para conceptualizar rápidamente el volumen y la forma arquitectónica del espacio. Además, puede georreferenciar los edificios creados y colocarlos en imágenes de Google Earth. Además, el modelo puede cargarse en la red a través del programa mismo y almacenarse directamente en la base de datos. (Bayard Revistas S.A, 2020)
2. **CYPETHERM ASHRAE LOADS:** CYPETHERM ASHRAE LOADS es una aplicación creada para el cálculo de cargas térmicas en edificios. Combina el método de la serie de tiempo de radiación (RTSM) propuesto y recomendado por la "American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers" (ASHRAE) para calcular el calor de los edificios, carga de enfriamiento y el procedimiento térmico y el procedimiento para

calcular la carga térmica; ambos se presentan en el “manual de aplicación de cálculo de carga 2010” (CYPE, 2020).

Los módulos de cálculo de carga térmica de calefacción realizan cálculos complejos sobre la carga de calor del edificio para lograr un ajuste correcto a través de la función de transferencia. El cálculo de la carga tiene en cuenta la geometría y la radiación solares en cualquier momento y en cualquier condición geográfica. De esta manera, la aproximación de la temperatura del aire-sol es mayor. (CYPE, 2020).

El programa determina el tamaño de la instalación distribuyendo la carga térmica entre todos los transmisores en el gabinete. De esta manera, cuando cualquier dato cambia en el cálculo de la carga térmica, el programa ajustara automáticamente el tamaño de toda la instalación, evitando así incompatibilidades y ahorrando a los diseñadores un tiempo muy beneficioso (CYPE, 2020).

A continuación, se muestra la página principal de la aplicación:



Ilustración 22. PROGRAMA CYPETHERM ASHRAE LOADS

Fuente: (CYPE, 2020).

3. **AUTOCAD:** Es un software que ayuda al usuario a realizar planos en segunda dimensión asistido por ordenador.
4. **EXCEL:** Es un programa el cual permite realizar tareas contables y financieras con ayuda de hojas de cálculo.

5. **Carta psicométrica:** es un gráfico de características del aire, como temperatura, entalpia, volumen y presión. La tabla psicométrica se utiliza para estudiar cómo cambian las características al cambiar la humedad del aire. (Avdiaz, 2020)
6. **RETScreen:** es un sistema de software de gestión de energía limpia para la eficiencia energética, el análisis de viabilidad de proyectos de energía renovable y cogeneración, y el análisis continuo del rendimiento energético. (Government of Canada, 2019)
7. **Calculadora de pérdida de carga:** es una herramienta del sitio de "herramientas de ingenieros", se trata de un documento de Excel, el cual es muy sencillo de utilizar y permite realizar cálculos de forma rápida, la herramienta permite resolver la ecuación de Colebrook-White automáticamente. (Herramientas de Ingenieros , 2019)

4.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Para lograr hacer esta investigación se recopiló información en diferentes bibliografías externas dando soporte al marco teórico, se realizará un estudio técnico el cual consiste en diferentes cálculos, como conocer la temperatura del suelo a una profundidad de tres metros, además se recopilará datos de la temperatura ambiente de la zona de Quimistán, Santa Bárbara gracias a la base de datos del programa de RETScreen. Se calculará la longitud de las tuberías del sistema de climatización mediante un pozo canadiense y se obtendrán las temperaturas de entrada y salida del aire promedio durante un año. Adicionando se realizará un cálculo equivalente de BTU del sistema de climatización de un pozo canadiense.

Luego se realizará una simulación de carga térmica en la casa de la residencial Green Valley obteniendo las caracterizaciones térmicas de los diferentes materiales de construcción en la casa. Además, se realizará un modelado en 3D de la vivienda para conocer como estará ubicada la tubería.

Se realizará un estudio financiero comparando un sistema de climatización convencional y un sistema de climatización mediante un pozo canadiense teniendo en cuenta la inversión, ahorro y el periodo de retorno. Por último, se realizará el cálculo del costo-beneficio del proyecto con y sin financiamiento.

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

A continuación, se muestra las actividades realizadas durante la investigación en un periodo de 10 semanas:

Tabla 5. Cronograma de Actividades

#	Actividades	Semanas												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Conocer el Entorno de la investigación	■												
2	Analizar la situación actual		■	■										
3	recopilación de información del funcionamiento del Pozo		■	■										
4	Desarrollo de metodología de estudio				■	■								
5	Recopilación de datos de la temperatura en Honduras						■							
6	Simulación en 3D de la vivienda						■							
7	Simulación de carga térmica						■	■						
8	Realizar calculos de la instalación							■						
9	Análisis financiero del proyecto y cálculo del costo beneficio							■	■					
10	Entrega de informe										■			
11	Pre-defensa												■	

Fuente: (Elaboración propia)

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En Este capítulo se muestra los resultados obtenidos, mostrando el procedimiento para la recopilación de datos importantes con la ayuda de las herramientas anteriormente mencionadas.

5.1 TEMPERATURA

A continuación, se muestra las temperaturas promedio que se han registrado durante 21 años desde 1999 hasta la actualidad en Naco Quimistán, Santa barbará donde está localizada la residencial Green Valley.

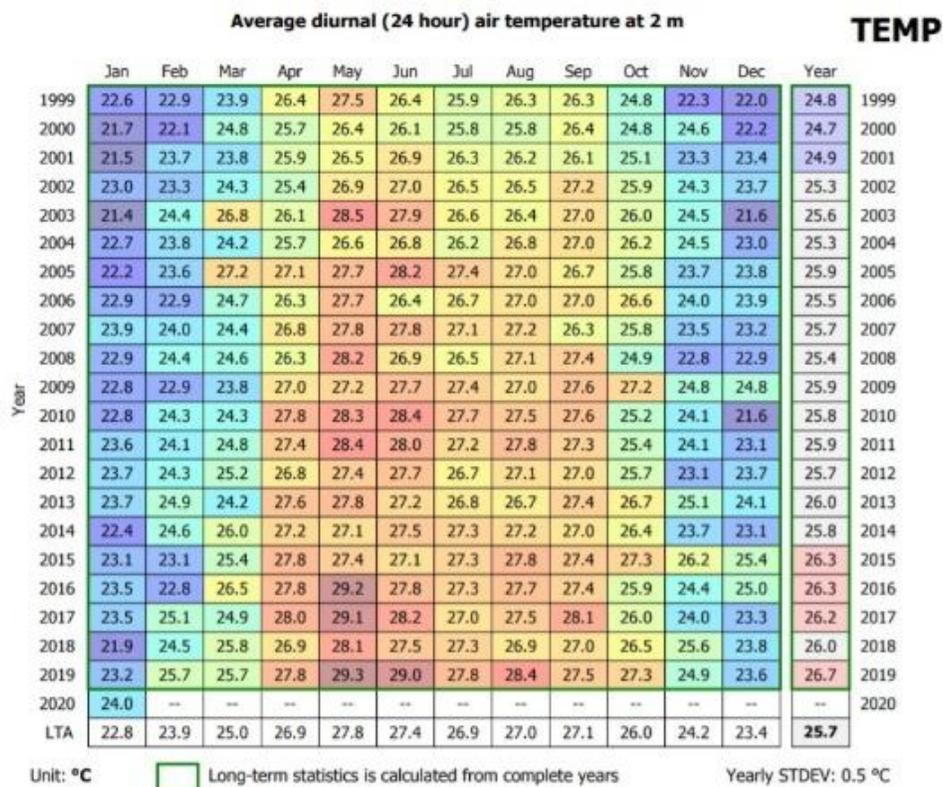


Ilustración 23. Temperatura promedio en Quimistán

Fuente: (Base de Datos Solargis).

5.2 CÁLCULOS

Los factores que debemos conocer al hacer unos intercambiadores de calor, es la temperatura del aire y del suelo a la profundidad donde se va a instalar. Para conocer la temperatura de Quimistán, Santa Bárbara nos remitimos a las condiciones exteriores del proyecto

en la residencial Green Valley según la estación meteorológica La Mesa con ayuda de los datos obtenidos en la aplicación RETScreen Expert.

Temperatura media anual: 26.5°C

Oscilación térmica máxima en la superficie: 8 °C

La excavación e instalación de las tuberías del intercambiador de calor se encontrarán en una profundidad de 3 metros, según el programa de las naciones unidas para el desarrollo el tipo de terreno del departamento de Santa Barbara donde está ubicado el proyecto de la residencial Green Valley es arcilloso (Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, 1969). La cual tiene una difusividad térmica de aproximadamente $0.33 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

A continuación, se muestra la tabla 6 y la ilustración con valores obtenidos de la base de datos RETScreen Expert provenientes de la estación meteorológica La Mesa encontrados, la tabla completa se encuentra en el anexo 1, además la temperatura del terreno se realizó con la ecuación 1 tomando en cuenta la oscilación de la temperatura superficial (As) la cual es 10 °C dato proporcionado por la municipalidad de Qumistán, Santa Bárbara .

Tabla 6. Temperatura del Aire y Terreno.

	Temperatura del Aire [°C]	Temperatura del terreno [°C] (profundidad 3 metros)
enero	23.8	15.94
Febrero	24.9	17.14
Marzo	26.1	18.74
Abril	27.7	20.64
Mayo	28.4	20.84
Junio	28.5	19.94
Julio	27.8	19.24
Agosto	28	19.34
Septiembre	26.7	19.04
Octubre	25.1	18.14
Noviembre	25.1	16.84
Diciembre	23.9	15.94
promedio	26.5	18.48

Fuente: (Elaboración propia con datos obtenidos de la base de datos de RETScreen Expert)

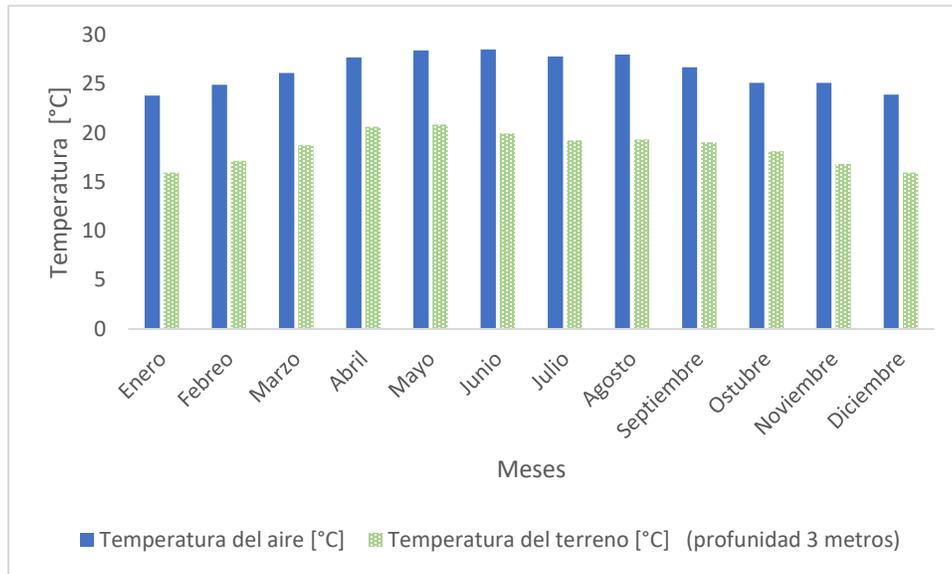


Ilustración 24. Temperatura del aire y del Terreno.

Fuente: (Elaboración propia).

Tanto como la tabla 6 como la Ilustración 24 se muestra el comportamiento de la temperatura del aire y del terreno en los diferentes meses durante el año. También se observa que las temperaturas más elevadas son en los meses de mayo y junio.

Para la elección de las tuberías utilizamos productos existentes en las ferreterías de Honduras y posteriormente se realizó un análisis para determinar la más conveniente para el sistema de climatización. Se realizó la comparación de las tuberías de PVC (policloruro de vinilo) y acero inoxidable. La tubería de PVC tiene 0.20 metros de diámetro nominal interior y el espesor es de 0.003 metros con una conductividad térmica de 0.17 [W/mK] encontrada en la tabla 4. La tubería de acero inoxidable tiene 0.20 metros de diámetro nominal interior y el espesor de 0.0088 con una conductividad térmica de 60 [W/mK] encontrada en la tabla 3.

Para determinar la longitud de la tubería de nuestro sistema de intercambio de calor comparamos tres velocidades intermedias del aire las cuales son de 3 m/s, 2 m/s y 1 m/s, esto se realizará para comparar los resultados y escoger cuál de estos es más favorable para el sistema de refrigeración, tomando en cuenta las limitantes del área de los terrenos de la residencial Green Valley. Podemos obtener el caudal que pasara por el conducto con la ecuación 3, primero se

muestra el resultado del área transversal (A) con la ecuación 4 la cual se multiplicara con la velocidad para encontrar el caudal.

$$A = \pi \cdot \left(\frac{DN}{2}\right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{0.20}{2}\right)^2 = 0.031 \text{ m}^2$$

Resultados del caudal con la ecuación 3:

Tabla 7. Caudales

	3 m/s	2 m/s	1 m/s
qt [m3/s]	0.093	0.062	0.031

Fuente: (Elaboración propia)

Ahora realizaremos el cálculo de la longitud de las tuberías para esto debemos elegir la temperatura a la que deseamos obtener el aire. Para el cálculo de esta debemos de elegir una temperatura de refrigeración, tomando en cuenta que no debemos de sobrepasar las temperaturas nominales de la naturaleza del terreno, en este caso se ha elegido la temperatura de salida del aire a 22 °C lo que significa que deseamos llegar a una temperatura de 1.16°C más que la temperatura máxima del terreno (3 metros bajo la superficie) en el año y realizándolo con las temperaturas altas y desfavorables del verano.

Temperatura del aire de salida: 22 °C

Temperatura del aire de entrada: 30 °C

Temperatura de la superficie del suelo : 27.5 °C

Temperatura del terreno: 21.34 °C

Se debe de calcular la temperatura media del aire esto con la ecuación 5.

$$T_{ma} = \frac{T_{entrada} + T_{salida}}{2} = \frac{30 + 22}{2} = 26^{\circ}\text{C}$$

5.2.1 CÁLCULO DE LONGITUD DE LA TUBERÍA SUBTERRÁNEA DE PVC

Luego de obtener la temperatura media del aire, realizamos el cálculo de la resistencia térmica para las tres diferentes velocidades con la ecuación 6, 7 y 8 dando como resultado lo siguiente:

Tabla 8. Resistencia térmica tubería PVC

Velocidad	Rconducción [m2 K/W]	Rconvección [m2 K/W]	R [m2 K/W]
3 m/s	0.018	0.075	0.093
2 m/s	0.018	0.103	0.121
1 m/s	0.018	0.18	0.198

Fuente: (Elaboración propia).

Por lo tanto, el resultado de la ecuación 9 del flujo de calor medio de calefacción en las diferentes velocidades es:

Tabla 9. Flujo de calor medio de calefacción tubería PVC.

Velocidad	R [m2 K/W]	ϕ_m [W/m2]
3 m/s	0.093	50.11
2 m/s	0.121	38.51
1 m/s	0.198	23.53

Fuente: (Elaboración propia)

Lo siguiente a calcular es la energía que debemos eliminar del aire (E_e) con la ecuación 10, los siguientes datos los obtenemos de la carta psicométrica.

Tabla 10. Tabla de energía eliminada

	Aire de entrada	Aire de salida
Temperatura (T) [°C]	30	22
Humedad relativa (HR) [%]	80%	80%
Entalpia (i) [KJ&Kg]	84	57
Volumen especifico (Ve) [m3/s]	0.884	0.855

Fuente: (elaboración propia)

$$E_e = \left(\frac{i}{V_e}\right)_{entrada} - \left(\frac{i}{V_e}\right)_{salida} = \left(\frac{84}{0.884}\right) - \left(\frac{57}{0.855}\right) = \frac{28.35KJ}{m^3} = 28,355.96 \text{ Ws/m}^3$$

Por último, calculamos la superficie de intercambio necesario (S) con la ecuación 11, y luego la longitud del conducto con la ecuación 12 tomando en cuenta los diferentes resultados de

caudales para realizar una comparación entre las velocidades y así decidimos cuál de estas nos conviene más por la longitud del terreno:

Tabla 11. Superficie y Longitud del conducto PVC.

Velocidad	S [m ²]	L [m]
3 m/s	52.63	83.76
2 m/s	45.65	72.65
1 m/s	37.36	59.44

Fuente: (elaboración propia).

Teniendo en cuenta que el perímetro de un terreno en la residencial Green Valley es de 49m y observando la comparación con las diferentes velocidades de 3 m/s, 2 m/s y 1 m/s nos damos cuenta de que es más favorable tener una velocidad de 3 m/s ya que tiene el mejor rendimiento en el sistema de climatización y se aprovecharía al máximo el terreno.

5.2.2 CÁLCULO DE LONGITUD DE LA TUBERÍA SUBTERRÁNEA DE ACERO INOXIDABLE

Realizamos el cálculo de la resistencia térmica para las tres diferentes velocidades con la ecuación 6, 7 y 8 dando como resultado lo siguiente:

Tabla 12. Resistencia térmica tubería de Acero Inoxidable

Velocidad	Rconducción [m ² K/W]	Rconvección [m ² K/W]	R [m ² K/W]
3 m/s	0.000147	0.075	0.07515
2 m/s	0.000147	0.103	0.10315
1 m/s	0.000147	0.18	0.18015

Fuente: (Elaboración propia).

Por lo tanto, el resultado de la ecuación 9 del flujo de calor medio de calefacción en las diferentes velocidades es:

Tabla 13. Flujo de calor medio de calefacción tubería de Acero Inoxidable.

Velocidad	R [m ² K/W]	ϕ_m [W/m ²]
3 m/s	0.07515	62
2 m/s	0.10315	45.18
1 m/s	0.18015	25.87

Fuente: (Elaboración propia)

Lo siguiente a calcular es la energía que debemos eliminar del aire (E_e) con la ecuación 10, se usaron los mismos datos de la tabla 10, siendo el mismo resultado para los dos materiales (PVC y Acero Inoxidable).

$$E_e = \left(\frac{i}{V_e}\right)_{entrada} - \left(\frac{i}{V_e}\right)_{salida} = \left(\frac{84}{0.884}\right) - \left(\frac{57}{0.855}\right) = \frac{28.35KJ}{m^3} = 28,355.96 \text{ Ws}/m^3$$

Por último, calculamos la superficie de intercambio necesario (S) con la ecuación 11, y luego la longitud del conducto con la ecuación 12 tomando en cuenta los diferentes resultados de caudales para realizar una comparación entre las velocidades y así decidimos cuál de estas nos conviene más por la longitud del terreno:

Tabla 14. Superficie y Longitud del conducto de Acero Inoxidable.

Velocidad	S [m2]	L [m]
3 m/s	42.53	67.69
2 m/s	38.91	61.93
1 m/s	33.98	54.08

Fuente: (elaboración propia).

Comparando los resultados de longitud de las dos tuberías (PVC y el acero inoxidable) observamos que la longitud de la tubería de acero inoxidable es 15.98 metros menor que la tubería de PVC y esto debido a la buena conductividad térmica del acero inoxidable.

Habiendo hecho el cálculo de la longitud, realizamos la comparación de las temperaturas del aire de entrada y salida con respecto a la temperatura del terreno (profundidad a 3 metros).

Tabla 15. variación de temperatura de entrada y salida.

	Temperatura del Aire de entrada [°C]	Temperatura del terreno [°C] (profundidad 3 metros)	Temperatura del Aire de salida [°C]
enero	23.8	15.94	17.54
Febrero	24.9	17.14	18.74
Marzo	26.1	18.74	20.34
Abril	27.7	20.64	22.24
Mayo	28.4	20.84	22.44
Junio	28.5	19.94	21.54
Julio	27.8	19.24	20.84
Agosto	28	19.34	20.94
Septiembre	26.7	19.04	20.64
Octubre	25.1	18.14	19.74
Noviembre	25.1	16.84	18.44
Diciembre	23.9	15.94	17.54
promedio	26.5	18.48	20.08

Fuente: (Elaboración propia).

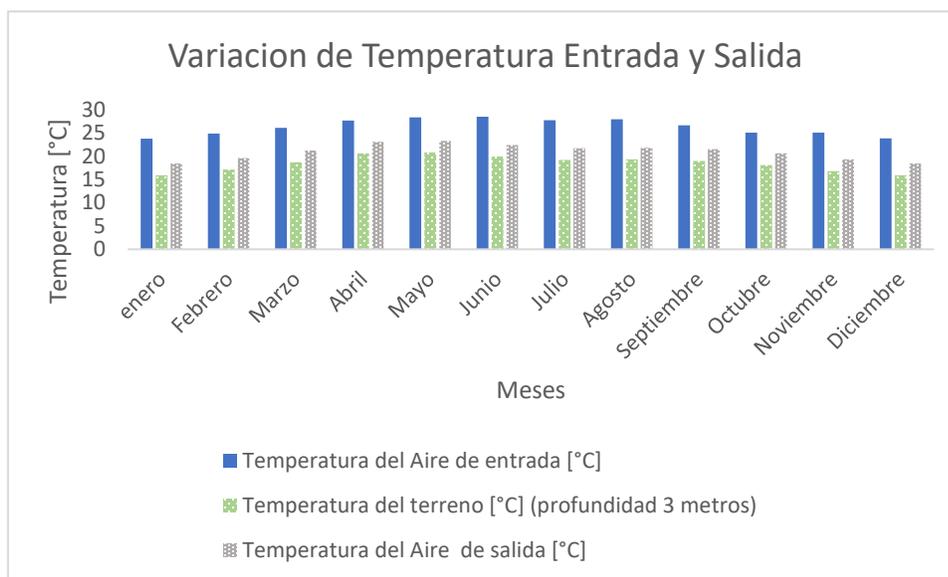


Ilustración 25. Variación de Temperatura del aire de Entrada y Salida.

Fuente: (elaboración propia)

Tanto como la tabla 15 como la Ilustración 25 se muestra el comportamiento de la temperatura del aire de entrada y salida en los diferentes meses durante el año. También se observa que las temperaturas más elevadas son en los meses de mayo y junio.

5.2.3 CÁLCULO DE CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN DEL SISTEMA

El cálculo de capacidad de refrigeración se realizó con el fin de encontrar los BTU equivalentes en el sistema de climatización por medio de un pozo canadiense con respecto a la velocidad del viento escogida que es de 3 m/s, su caudal siendo 0.093 m³/s equivalente a 197.06 CFM, El cambio de temperatura se produce por una resta entre la temperatura de entrada menos la temperatura de salida del aire. Teniendo el mismo resultado con los dos tipos de tuberías (PVC y acero inoxidable) ya que se utilizaron los mismos valores de caudal y temperatura para el análisis:

$$CFM \cdot \Delta H \cdot 4.5 = 197.06 \cdot (30 - 22) \cdot 4.5 = 7,094.16 \text{ BTU}$$

Llegando a un 59.12% de la capacidad de refrigeración de un aire acondicionado de 12,000 BTU.

Para poder aumentar el valor de capacidad de refrigeración, se tendría que aumentar el caudal y reducir aún más la temperatura. Aumentar el caudal trae como consecuencia una menor transferencia de calor por lo tanto tendríamos que recurrir a alargar en gran manera la longitud de la tubería para así poder reducir la temperatura de salida de nuestro sistema. Teniendo en cuenta que se tiene las limitantes del tamaño del terreno en la residencial Green Valley y la temperatura de nuestro terreno.

5.3 CARGA TÉRMICA

Se presenta la carga térmica de la casa en la residencial Green Valley teniendo en cuenta las capas y caracterización térmica del techo, paredes, tabiquería y suelo, los datos de obtuvieron con ayuda del programa de CYPETHERM ASHRAE LOADS.

Primero tenemos las paredes, las capas de materiales con la cual está construida y la caracterización térmica.

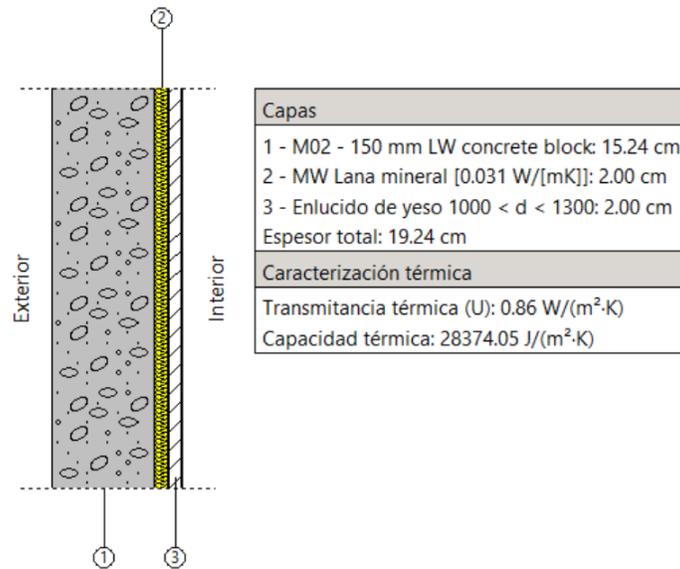


Ilustración 26. Paredes.

Fuente: (Elaboración propia con el programa de CYPETHERM LOADS)

Luego, tenemos la tabiquería, las capas de materiales y la caracterización térmica

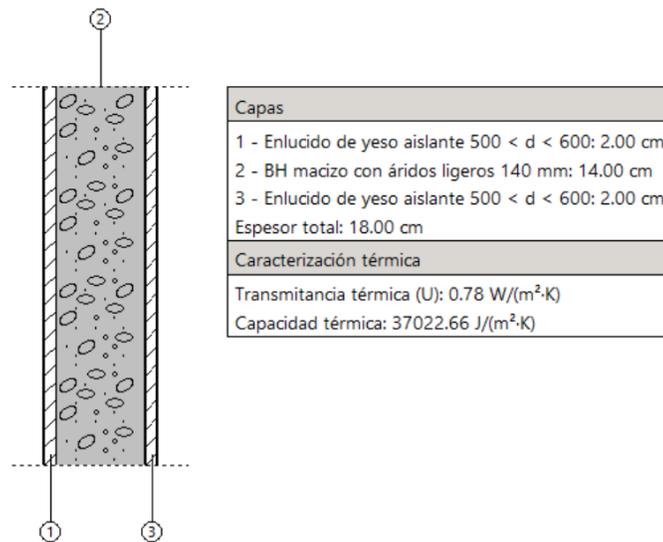


Ilustración 27. tabiquería.

Fuente: (Elaboración propia con el programa de CYPETHERM LOADS)

El suelo en contacto con el terreno con sus respectivas capas de materiales y la caracterización térmica.

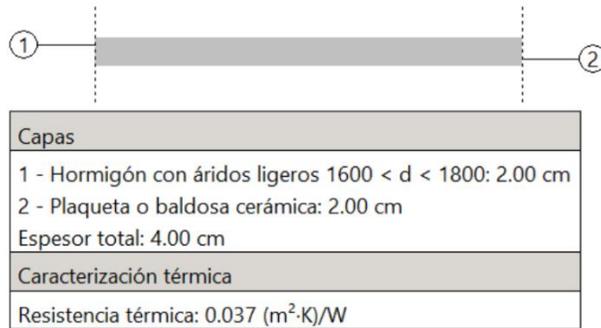


Ilustración 28. Suelo.

Fuente: (Elaboración propia con el programa de CYPETHERM LOADS)

Por último, la cubierta o techo, se presenta las capas de materiales y su característica térmicas

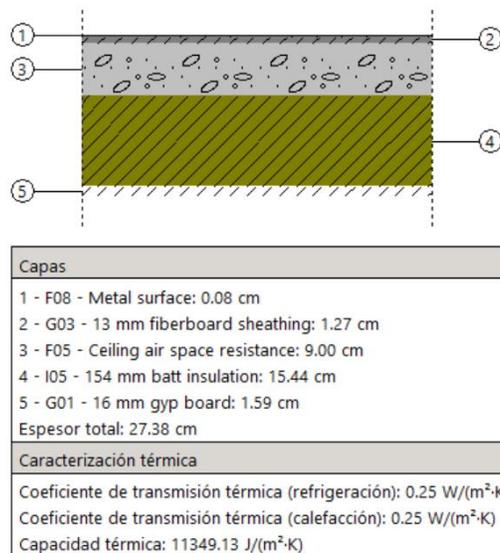


Ilustración 29. Techo.

Fuente: (Elaboración propia con el programa de CYPETHERM LOADS)

A continuación, se presenta la carga máxima simultánea de refrigeración, se observa las diferentes cargas térmicas de cada recinto de la vivienda con un total de 4148 [BTU/h], siendo la cocina y sala el recinto con mayor carga térmica.

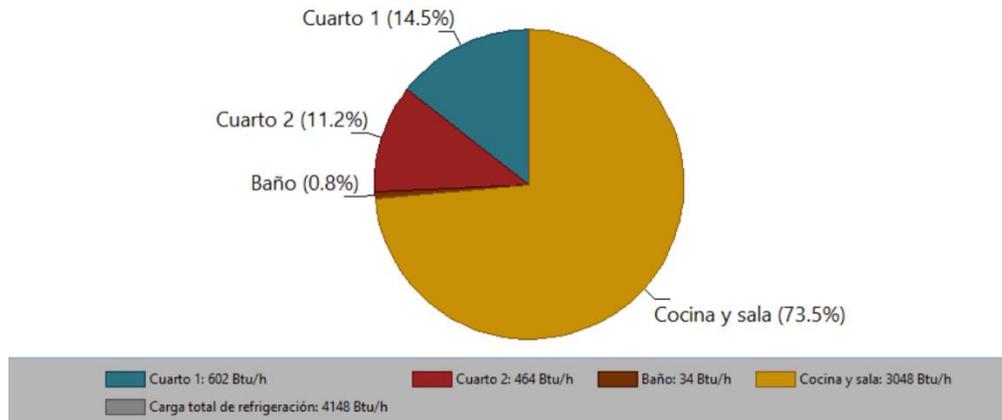


Ilustración 30. Carga Máxima simultánea de refrigeración.

Fuente: (Elaboración propia con el programa de CYPETHERM LOADS)

se presenta la evaluación anual de la carga máxima simultánea de refrigeración, se observa que la cocina y sala igualmente es donde se presenta con mayor carga térmica en su pico más alto en junio con aproximadamente 14000 [BTU/h], seguida por los dormitorios y la menor carga térmica en la vivienda es en el baño.

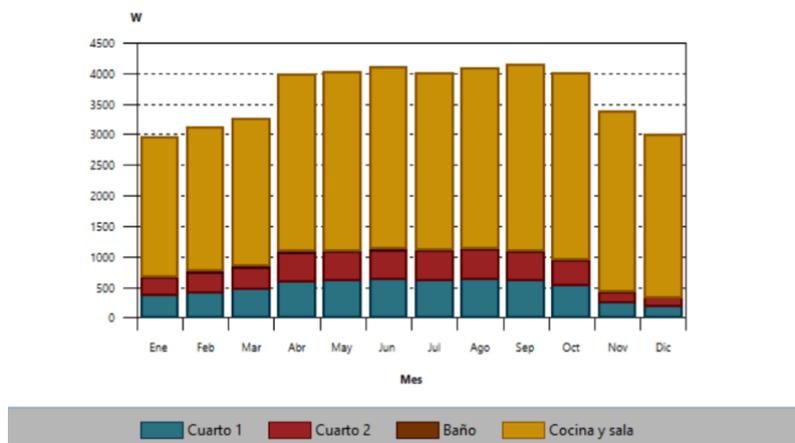


Ilustración 31. evaluación anual de la carga máxima simultánea de refrigeración.

Fuente: (Elaboración propia con el programa de CYPETHERM LOADS)

5.4 MODELO EN 3D

Se realizó el modelo en tercera dimensión con ayuda del programa de SketchUp, mostrando la arquitectura de la casa en la residencial Green Valley, el plano en segunda dimensión hecho en AUTOCAD se muestra en el anexo 5, además para mejor apreciación del modelo en los anexos 6 y 7 se encuentran diferentes puntos de vista. Se muestra la ubicación de los ductos de intercambio de calor donde comienzan y termina, también se muestra la ubicación del ventilador de extracción la cual está entre la sala y los cuartos de la casa teniendo en consideración que ventilara a la zona de los dormitorios solamente.

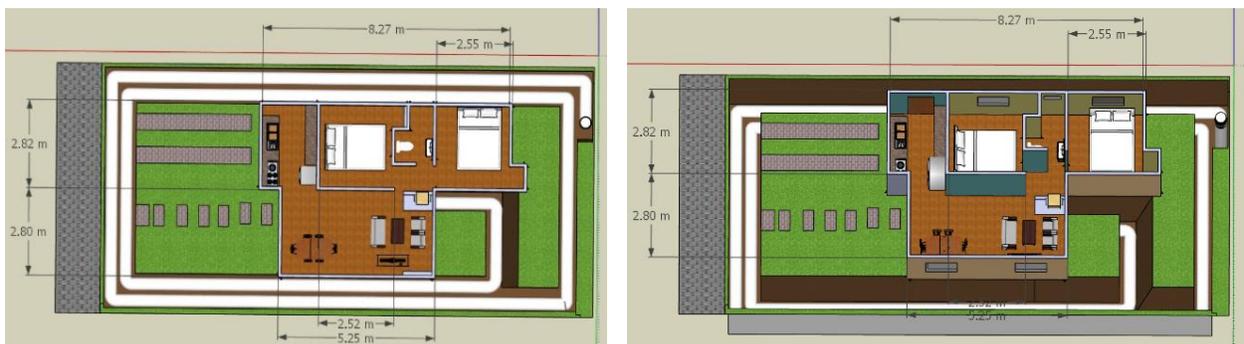


Ilustración 32. Diseño del Pozo canadiense

Fuente: (Elaboración propia con el programa de SketchUp)

5.5 CARACTERÍSTICAS DEL VENTILADOR

Se escogió un ventilador Ipower de 8 pulgadas para el sistema de ventilación que suministrara potencia para aumentar el caudal del aire en la tubería PVC de nuestro sistema mostrado en la siguiente ilustración:



Ilustración 33. Ventilador Ipower

Fuente: (Amazon).

Se muestra las especificaciones del ventilador Ipower escogido el cual es el tercer modelo en la tabla 16, tiene 85 W de potencia, un caudal de 850 [m³/h], presión estática de 350 Pa, un diámetro de 200 mm y se puede aplicar en un área dentro de 34 a 76 m²

Tabla 16. Especificaciones del ventilador

Model (No)	Power (W)	Air Volume (m ³ /h)	Static Pressure (Pa)	Noise (dB)	Duct Size Ø (mm)	Net Weight (Kg)	Applicable Area (Reference) (m ²)
GLFANXINLINEEXPC4	28	200	180	30	100/125	1.8	8~16
GLFANXINLINEEXPC6	50	500	300	35	150/160	2.2	18~36
GLFANXINLINEEXPC8	85	850	350	50	200	3.1	34~76

Fuente: (Manual de uso del ventilador Ipower).

En la siguiente ilustración se observa la curva de rendimiento que tiene el ventilador Ipower respecto a la presión estática y volumen del aire.

- la curva " -----" en la imagen es la curva de referencia de Perdida de presión de la tubería en 5m, 10m, 15 m, 20m 25m y 30 m

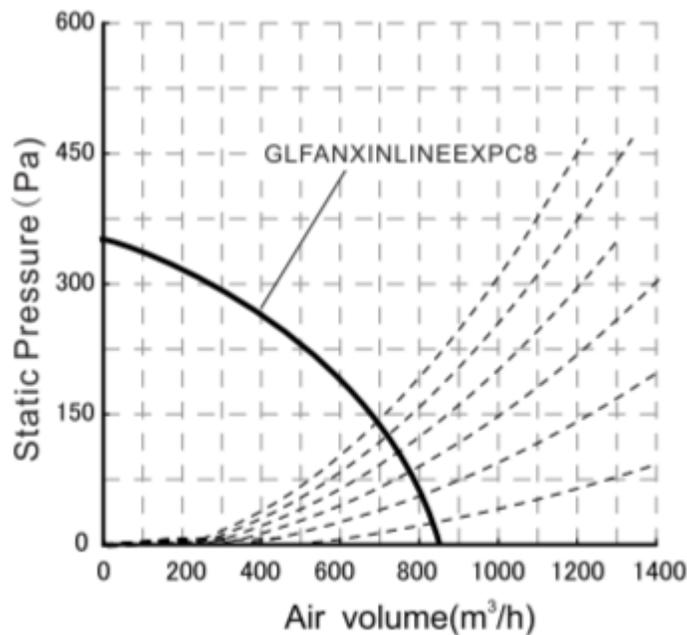


Ilustración 34. Curva de Rendimiento

Fuente: (Manual de uso del ventilador Ipower).

5.6 PERDIDAS DE CARGA EN LA TUBERÍA

Se realizaron los cálculos de pérdidas de carga en la tubería respecto al caudal del ventilador con la calculadora de pérdidas de carga de herramientas de ingenieros. Se utilizaron todas las características físicas y dinámicas del fluido que en este caso es el aire, también se utilizaron las características físicas de rugosidad absoluta y media del material PVC. En la tabla 17 podemos identificar los parámetros de diseño utilizados para calcular las pérdidas de carga.

Tabla 17. parámetros de diseño

Parámetros de diseño			
Fluido		-	Aire
Caudal		m ³ /h	850
Material tubería		-	PVC
Diámetro interior		mm	200
Presión inicial		bar rel	1.013
Temperatura		°C	20

Fuente: (Elaboración propia con la calculadora de pérdidas de carga).

El aire a presión atmosférica a 100 msnm muestra las siguientes características en la tabla 18. Las pérdidas por carga de la tubería son influenciadas por las características de nuestro fluido que en este caso es el aire.

Tabla 18. características del fluido

Características del fluido			
Densidad	ρ	kg/m ³	1.204
Viscosidad dinámica	μ	Pa.s	1.81E-05
Viscosidad cinemática	ν	m ² /s	1.50E-05

Fuente: (Elaboración propia con la calculadora de pérdidas de carga).

Las características físicas del material PVC de nuestra tubería se muestran en la tabla 19 que representaran la resistencia por fricción que tendrá el aire. El PVC es liso, por lo tanto, las pérdidas por fricción no son elevadas. El diseño de nuestra tubería posee 11 codos que también sumaran pérdidas estáticas a nuestro sistema.

Tabla 19. características del circuito.

Características del circuito			
Rugosidad absoluta	k	mm	0.0015
Rugosidad relativa	k/D		0.0000075
Longitud	L	m	84
Codos 45°		u	11

Fuente: (Elaboración propia con la calculadora de pérdidas de carga).

Las características dinámicas del fluido para nuestro sistema de climatización por medio de un pozo canadiense se muestran en la tabla 20, además muestra los resultados del factor de fricción de nuestra tubería PVC y los resultados de las pérdidas de carga totales.

Tabla 20. características del flujo

Características del flujo			
Velocidad	v	m/s	7.52
Número de Reynolds	Re	-	100024.01
Régimen		-	TURBULENTO
Factor de fricción	f	-	0.0180
Pérdida de carga unitaria		mbar/m	0.0307
Pérdidas de carga lineales		mbar	2.58
Pérdidas de carga singulares		mbar	1.08
Pérdidas de carga totales		mbar	3.66

Fuente: (Elaboración propia con la calculadora de pérdidas de carga).

5.7 ANÁLISIS FINANCIERO

A continuación, se presenta los procesos financieros que analizamos para encontrar el costo beneficio de un sistema de climatización mediante un pozo canadiense tomando en cuenta los diferentes costos y ahorros

5.7.1 COSTOS DE MATERIALES

Analizamos los costos de materiales del sistema de climatización convencional y el sistema de climatización mediante un pozo canadiense comparando dos tipos de tuberías las cuales son de PVC y acero inoxidable. El costo total se obtuvo multiplicando los precios de los materiales con

la cantidad de materiales. Los datos obtenidos de los costos de los materiales del pozo canadiense se recopilaron de una ferretería local de la zona de Quimistán y Amazon las cuales se encuentran en los anexos 2, 3 y 4.

Tabla 21. Costos del Pozo canadiense con tubería PVC

Pozo Canadiense	Precio por unidad	Cantidad	Unidad	Total
Lance de PVC 20'', diámetro 8''	\$ 8.68	92	Lance	\$ 798.91
Codos de PVC 8''	\$ 10.50	11	Unidad	\$ 115.51
Acoples de PVC 8''	\$ 8.02	4	Unidad	\$ 32.06
Ventilador de ducto iPower	\$ 95.00	1	Unidad	\$ 95.00
Filtros de aire	\$ 8.02	1	Unidad	\$ 8.02
Costo excavación	\$ 6.20	84	m3	\$ 520.80
Pegamento PVC	\$ 27.88	2	Galon	\$ 55.76
Tapadera de torre de entrada	\$ 4.81	1	Unidad	\$ 4.81
Rejilla de torre de salida	\$ 4.81	1	Unidad	\$ 4.81
Mano de Obra	\$ 58.12	4	Unidad	\$ 232.46
Envíos	\$ 4.81	6	Unidad	\$ 28.86
Total				\$ 1,897.00

Fuente: (Elaboración propia).

Tabla 22. Costos del Pozo canadiense con tubería de acero inoxidable

Pozo Canadiense	Precio por unidad	Cantidad	Total
Lance de Acero inoxidable 20'', diámetro 8''	\$ 231.68	76	\$ 17,607.94
Codos de 8''	\$ 20.00	9	\$ 180.00
Ventilador de ducto iPower	\$ 95.00	1	\$ 95.00
Filtros de aire	\$ 8.02	1	\$ 8.02
Costo excavación	\$ 4.81	63	\$ 303.01
Pegamento PVC	\$ 4.01	5	\$ 20.04
Tapadera de torre de entrada	\$ 4.81	1	\$ 4.81
Rejilla de torre de salida	\$ 4.81	1	\$ 4.81
Mano de Obra	\$ 58.12	10	\$ 581.16
Envíos	\$ 4.81	6	\$ 28.86
Total			\$ 18,833.64

Fuente: (Elaboración propia).

Los datos obtenidos de los precios de la climatización convencional son de Jestereo mostrado en el anexo 2 y técnicos locales.

Tabla 23. Costo de materiales de una climatización convencional.

Climatización Convencional	Precio por unidad	Unidades	Total
Aire de 12,000 BTU	\$ 745.29	1	\$ 745.29
Instalación	\$ 60.12	1	\$ 60.12
Total			\$ 805.41

Fuente: (Elaboración propia).

5.7.2 CONSUMO ENERGÉTICO

El consumo energético se basa de la tabla 1. Costo por consumo, en esta representa los precios equivalentes en lempiras por [kWh] consumido. En la siguiente tabla se compara el consumo que tendrían los dos sistemas de climatización, se muestra la diferencia o ahorro al utilizar el ventilador del ducto:

Tabla 24. Consumo Energético

Consumo energético climatización convencional y pozo canadiense						
Sistema	consumo [kW]	Horas de uso al día	Equipos	Días de uso	Precios [\$/kWh]	Total
Aire de 12,000 BTU	1.59	8	1	30	\$ 0.22	\$ 83.51
Ventilador de ducto iPower	0.085	8	1	30	\$ 0.22	\$ 4.46
Diferencia						\$ 79.04

Fuente: (elaboración propia).

5.7.3 COSTO BENEFICIO CON TUBERÍA PVC

Luego de calcular el ahorro en el consumo energético que se obtiene al colocar un sistema de climatización por medio de un pozo canadiense presentado en la tabla 19, podemos calcular el costo beneficio de este sistema. Realizamos un análisis económico sin y con financiamiento, comparando el costo de los materiales de la tubería PVC , primero tomando en cuenta la tasa de crecimiento de la tarifa eléctrica, los datos mostrados a continuación se tomaron de la ilustración 21 calculando el promedio de los últimos 4 años.

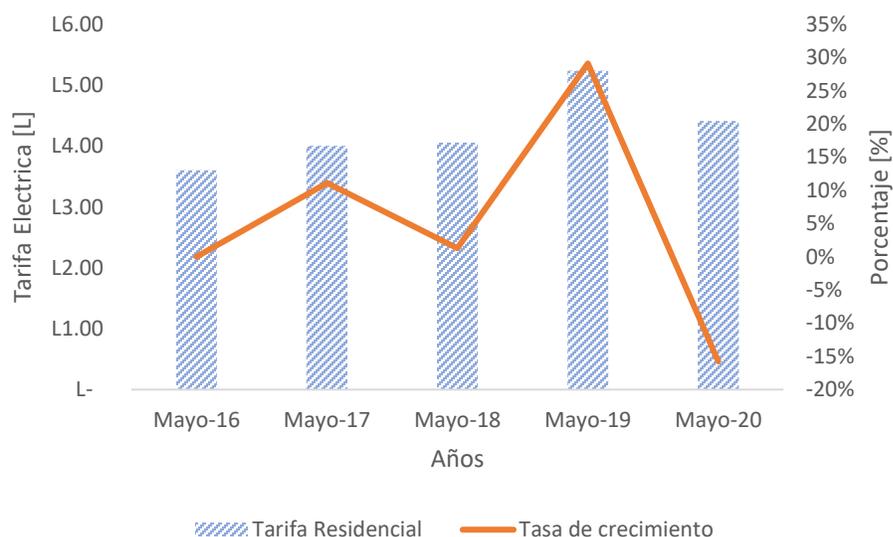


Ilustración 35. Tasa de Crecimiento y Tarifa Eléctrica.

Fuente: (Elaboración Propia con datos obtenidos de la CREE)

Seguidamente se presenta un análisis de la inversión sin financiamiento de la tubería PVC en el cual se observa la inversión inicial del proyecto y el ahorro mensual.

Tabla 25. Análisis de Inversión sin financiamiento tubería PVC

Análisis de inversión sin financiamiento	
Inversión	\$ 1,897.00
Ahorro Mensual	\$ 79.04

Fuente: (Elaboración Propia).

Posteriormente se realizó el análisis económico sin financiamiento de la tubería PVC, en la siguiente ilustración se muestra el periodo de recuperación del proyecto, se observa que en el segundo año de operación ya obtenemos la recuperación de la inversión.

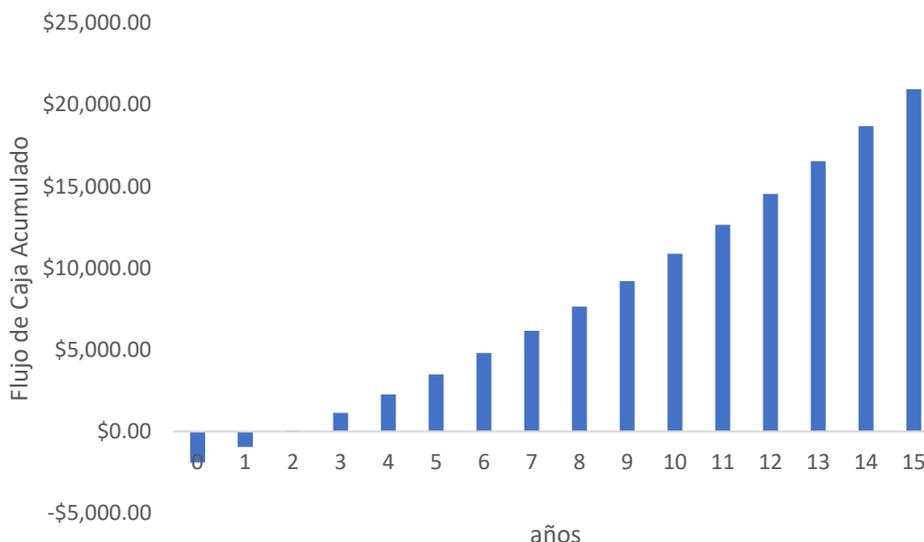


Ilustración 36. Periodo de recuperación sin Financiamiento tubería PVC

Fuente: (Elaboración propia)

Como resultados obtenemos el costo beneficio que tendríamos con un proyecto sin financiamiento con tuberías PVC en una casa de la residencial Green Valley en Quimistán. Adicionándole la tasa interna de retorno (TIR) que influye el flujo de efectivo acumulado. Los egresos lo cual es el mantenimiento que se le dará al sistema sumándole la inflación del lempira que es un 4.08% anual (Banco Central de Honduras, 2019), y el consumo de energía eléctrica tomando en cuenta la tasa de crecimiento de la tarifa eléctrica presentada en la ilustración 33.

Tabla 26. Costo-Beneficio sin Financiamiento tubería PVC

Costo-Beneficio sin financiamiento	
TIR	56%
Suma de ahorro	\$22,848.51
Suma de egresos	\$429.77
Inversión inicial	\$ 1,897.00
Total de inversión	\$2,326.78
B/C	9.82

Fuente: (Elaboración Propia).

Realizamos el análisis económico con financiamiento de la tubería de PVC con la diferencia que tendremos una cuota nivelada obtenida por la calculadora de préstamos del banco Banpais de Honduras con una tasa de intereses a 23%.

Seguidamente se presenta un análisis de la inversión con financiamiento en el cual se observa la cuota nivelada anual, la inversión inicial del proyecto y el ahorro mensual.

Tabla 27. análisis de inversión con financiamiento tubería PVC

Análisis de inversión con financiamiento	
Cuota nivelada anual	\$ 881.19
Inversión	\$2,643.57
Ahorro mensual	\$ 79.04

Fuente: (Elaboración Propia).

En la siguiente ilustración se muestra el periodo de recuperación del proyecto con tubería PVC, se observa que en el tercer año de operación ya obtenemos la recuperación de la inversión, el cual tiene un año de diferencia con el análisis sin financiamiento.

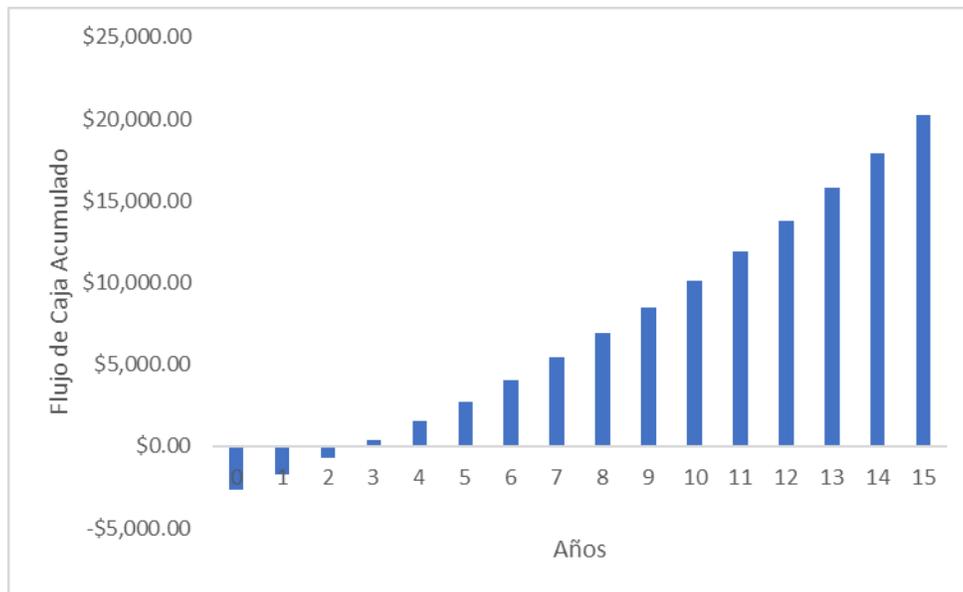


Ilustración 37. Periodo de recuperación con Financiamiento tubería PVC

Fuente: (Elaboración Propia).

Como resultados obtenemos el costo beneficio que tendríamos con un proyecto con financiamiento en una casa de la residencial Green Valley en Quimistán. Igualmente, que en el análisis sin financiamiento adicionándole la tasa interna de retorno la suma de ahorros y suma de egresos.

Tabla 28. Costo-Beneficio con Financiamiento tubería PVC

Costo-Beneficio con financiamiento	
TIR	42%
Suma de ahorro	\$ 22,848.51
Suma de egresos	\$ 429.77
Inversión inicial	\$ 2,643.57
Total de inversion	\$ 3,073.34
B/C	7.43

Fuente: (Elaboración Propia).

5.7.4 COSTO BENEFICIO CON TUBERÍA DE ACERO INOXIDABLE

Luego de calcular el costo beneficio que se tendría con una tubería de PVC realizamos un análisis económico sin y con financiamiento, comparando el costo de los materiales de la tubería de acero inoxidable, primero tomando en cuenta la tasa de crecimiento de la tarifa eléctrica como se hizo anteriormente mostrada en la ilustración 33.

Seguidamente se presenta un análisis de la inversión sin financiamiento de la tubería de acero inoxidable en el cual se observa la inversión inicial del proyecto y el ahorro mensual.

Tabla 29. Análisis de Inversión sin financiamiento tubería de acero inoxidable

Analisis de inversión sin financiamiento	
Inversión	\$ 18,833.64
Ahorro Mensual	\$ 79.04

Fuente: (Elaboración Propia).

Posteriormente se realizó el análisis económico sin financiamiento de la tubería de acero inoxidable, en la siguiente ilustración se muestra el periodo de recuperación del proyecto, se observa que hasta el año 14 de operación ya obtenemos la recuperación de la inversión.

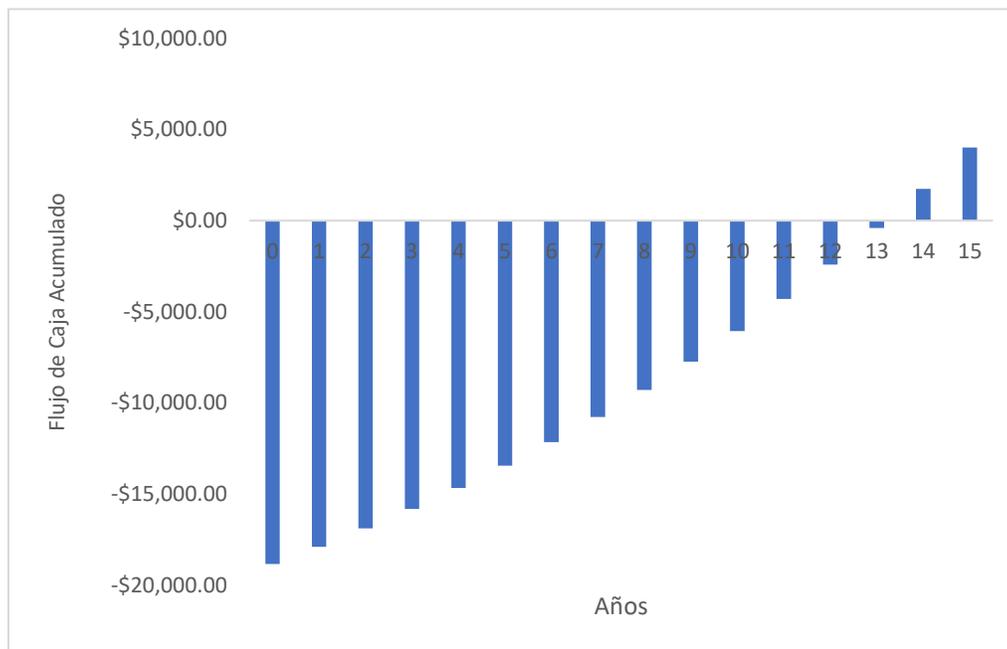


Ilustración 38. Periodo de recuperación sin Financiamiento tubería de acero inoxidable

Fuente: (Elaboración propia)

Como resultados obtenemos el costo beneficio que tendríamos con un proyecto sin financiamiento con tubería de acero inoxidable en una casa de la residencial Green Valley en Quimistán. Adicionándole la tasa interna de retorno (TIR) que influye el flujo de efectivo acumulado. Los egresos lo cual es el mantenimiento que se le dará al sistema sumándole la inflación del lempira que es un 4.08% anual (Banco Central de Honduras, 2019), y el consumo de energía eléctrica tomando en cuenta la tasa de crecimiento de la tarifa eléctrica presentada en la ilustración 33.

Tabla 30. Costo-Beneficio sin Financiamiento tubería de acero inoxidable

Costo-Beneficio sin financiamiento	
TIR	2%
Suma de ahorro	\$ 22,848.51
Suma de egresos	\$ 429.77
Inversión inicial	\$ 18,833.64
Total de inversión	\$ 19,263.41
B/C	1.19

Fuente: (Elaboración Propia).

Realizamos el análisis económico con financiamiento de la tubería de acero inoxidable con la diferencia que tendremos una cuota nivelada obtenida por la calculadora de préstamos del banco Banpais de Honduras con una tasa de intereses a 23%.

Seguidamente se presenta un análisis de la inversión con financiamiento en el cual se observa la cuota nivelada anual, la inversión inicial del proyecto y el ahorro mensual.

Tabla 31. análisis de inversión con financiamiento tubería de acero inoxidable

Análisis de inversión con financiamiento	
Cuota nivelada anual	\$ 8,748.54
Inversión	\$26,245.62
Ahorro mensual	\$ 79.04

Fuente: (Elaboración Propia).

En la siguiente ilustración se muestra el periodo de recuperación del proyecto con tubería de acero inoxidable, se observa que durante los 15 años no hay recuperación de la inversión, por lo tanto, no es factible económicamente.

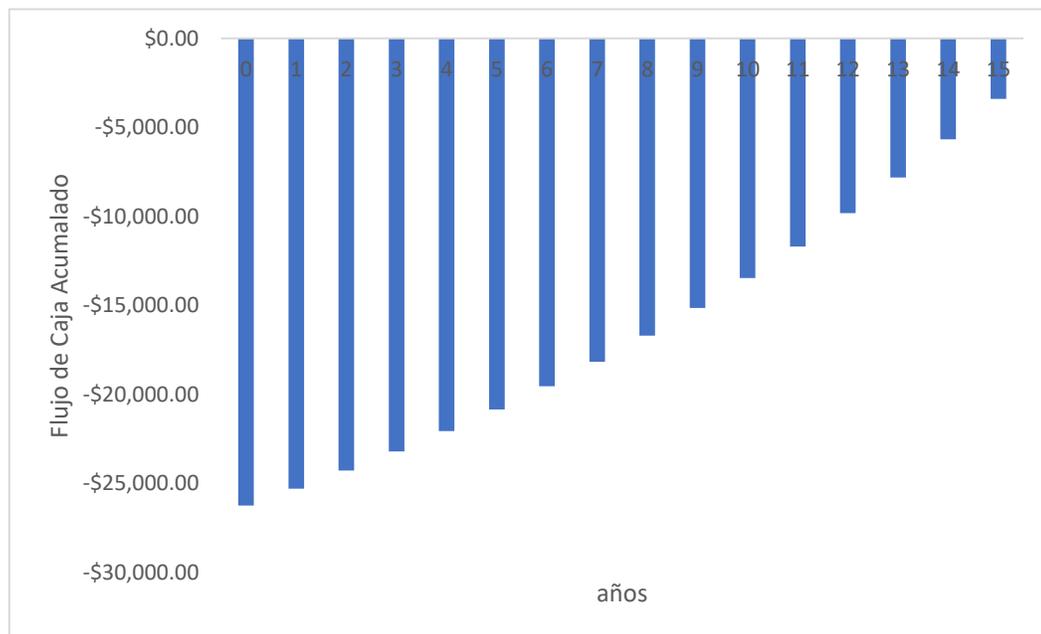


Ilustración 39. Periodo de recuperación con Financiamiento tubería de acero inoxidable

Fuente: (Elaboración Propia).

Como resultados obtenemos el costo beneficio que tendríamos con un proyecto con financiamiento en una casa de la residencial Green Valley en Quimistán. Igualmente, que en el análisis sin financiamiento adicionándole la tasa interna de retorno la suma de ahorros y suma de egresos.

Tabla 32. Costo-Beneficio con Financiamiento

Costo-Beneficio con financiamiento	
TIR	-1%
Suma de ahorro	\$22,848.51
Suma de egresos	\$429.77
Inversión inicial	\$ 26,245.62
Total de inversion	\$ 26,675.39
B/C	0.86

Fuente: (Elaboración Propia).

VI. CONCLUSIONES

La siguiente investigación tuvo como objetivo Determinar el costo beneficio de un diseño de climatización con intercambiadores de calor por medio de un sistema de energía geotérmica de baja entalpia en una vivienda situada en Quimistán Santa Bárbara Honduras. En base a los resultados obtenidos en cada uno de los análisis, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Con los resultados financieros obtenidos del proyecto de energía geotérmica de baja entalpia se rechaza la hipótesis nula, ya que resulta muy conveniente por el costo beneficio instalar un sistema de climatización por medio de un pozo canadiense con tubería PVC y evitar el consumo excesivo de energía eléctrica con un sistema de climatización convencional.
- Se logro realizar un diseño de un pozo canadiense para las casas de la Residencial de Green Valley. Se realizo el dimensionamiento de la longitud de los ductos subterráneos con ayuda de fórmulas e información de las condiciones físicas del terreno para lograr reducir 8°C con respecto a la temperatura del aire de entrada, teniendo como escenario una temperatura desfavorable en el verano, obteniendo así el resultado de 83.76 m.
- Se calculo la carga térmica de la casa, incluyendo la caracterización térmica de sus paredes, techo y suelo con ayuda del simulador de CYPETHERM ASHRAE LOADS dando como resulta una carga máxima simultanea de refrigeración de 4148 BTU/h siendo así el sector con más carga térmica la cocina y sala.
- Se calculo la capacidad de refrigeración del sistema de climatización por medio del pozo canadiense obteniendo como resultado 7,094.16 BTU siendo así un 59.12% de la capacidad de un aire acondicionado de 12,000 BTU.
- El costo mensual de consumo energético de un aire acondicionado de 12,000 BTU en una casa en la residencial Green Valley es de aproximadamente de \$83.51 y el del sistema de climatización por medio del pozo canadiense tendría \$4.46 obteniendo así un ahorro equivalente a \$79.04.

- Se realizó un análisis de factibilidad económica del pozo canadiense con tubería PVC calculando la tasa interna de retorno obteniendo los resultados de un 56% sin financiamiento y un 42% con financiamiento, también se realizó la evaluación del costo beneficio dando como resultado un 9.82 sin financiamiento y un 7.43 con financiamiento.
- Se comparo los costos iniciales de materiales entre los dos sistemas de climatización obteniendo que la inversión inicial de un aire acondicionado es el 42.44% del costo inicial de un pozo canadiense con tubería PVC y un 4.27% del costo inicial de un pozo canadiense con tubería de acero inoxidable. El costo del pozo canadiense con tubería PVC es un 10% del costo del pozo canadiense con tubería de acero inoxidable.

Económicamente el proyecto es factible con tubería de PVC y se puede llegar a tener un buen funcionamiento del sistema, sin embargo, no lograra igualar el confort que se obtiene de un aire acondicionado ya que los BTU que tiene el sistema de climatización de un pozo canadiense son menores.

Para lograr acortar la longitud de la tubería del sistema de refrigeración por medio de un pozo canadiense se debería de utilizar un ducto con materiales de mayor conductividad térmica como ser el acero inoxidable, esto no garantiza una rentabilidad económica del proyecto ya que el costo de las tuberías con mayor conductividad térmica es elevado. Para lograr igualar o acercarse a la temperatura del terreno a tres metros de profundidad se tendría que alargar en gran manera la longitud de las tuberías subterráneas tomando en cuenta que no se podrá sobrepasar los límites de temperatura del terreno.

VII. RECOMENDACIONES

A partir del desarrollo de la investigación y de las conclusiones formuladas, se recomienda:

- Se recomienda instalar un sistema de climatización por medio de un pozo canadiense con tubería PVC ya que al remplazarlo por un aire acondicionado se tendrá ahorros significativos.
- Se recomienda utilizar una longitud de tuberías subterráneas de 83.76 m en un sistema de climatización por medio de un pozo canadiense con tubería PVC para obtener la reducción de 8 °C de la temperatura de salida para un diseño convencional de las casas de la residencial Green Valley.
- Se recomienda realizar el estudio de la carga térmica de los diferentes sectores de la vivienda para poder dimensionar y ubicar el sistema de climatización.
- Se recomienda financiar el costo inicial del sistema de climatización por medio de un pozo canadiense ya que la inversión es elevada.
- Se recomienda tomar en cuenta que este diseño de climatización por medio de un pozo canadiense apenas llegará a un 59.12% de la capacidad de un aire acondicionado de 12,000 BTU.
- Se recomienda la instalación del pozo canadiense durante la construcción de la casa, además se debería de utilizar materiales de construcción más eficientes y aislantes térmicos en la vivienda para tener un mejor funcionamiento del sistema de climatización.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Amitrano, D. (2006). *Eléments de dimensionnement d'un échangeur air/sol, dit « puits canadien »*. Francia: universidad Joseph-Fourier.
- ATECYR. (Junio de 2012). *Idae*. Obtenido de Diseño de sistema de intercambio geotérmico de circuito cerrado: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_14_Guia_tecnica_diseno_de_sistemas_de_intercambio_geotermico_de_circuito_cerrado_1d03dc08.pdf
- Avdiaz. (2020). *psicrometría*. Obtenido de Avdiaz: <https://avdiaz.files.wordpress.com/2009/01/i-unidad3.pdf>
- Banco Central de Honduras. (Diciembre de 2019). *índice de precios al consumidor*. Obtenido de BCH: https://www.bch.hn/download/ipc_historico/2019/ipc122019.pdf
- Banco Mundial. (12 de abril de 2020). *Honduras: panorama general*. Obtenido de Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/country/honduras/overview>
- Baver, L., Gardner, W. H., & Gardner, W. R. (1991). *Física del Suelo*. México: Grupo noriega.
- Bayard Revistas S.A. (2020). *Plusesmas*. Obtenido de Herramienta visionar espacios : https://www.plusesmas.com/nuevas_tecnologias/articulos/internet_email/que_es_y_como_funciona_google_sketchup/165.html
- Benrachi, N., Smaili, A., & Lamarche, L. (2017). *Numerical Analysis of a New Configuration of Ground Air Heat Exchanger*. Arabia: IEEE.
- Brunat y Escuer, I. (2010). *Intercambiadores Tierra-Aire y Técnicas Emparentadas. Ejemplos y Experiencias*. Madrid: Geoconsultores tecnicos y ambientales, S.L.
- Cabezas, A. M. (2012). *Eficiencia Energetica a traves de Utilización de Pozos Canadienses con el Análisis de Datos de un Casa Real "Casa Pomaret"*. Barcelona: Universidad politécnica de Barcelona .

- Carcel, F., & Márquez, D. (2015). *La Energía Geotérmica de Baja Entalpia*. Valencia: 3C Tecnología.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica*. España: Mc Graw Hill.
- Connor , N. (08 de 01 de 2020). *¿ Que es la conductividad térmica? Definición*. Obtenido de Thermal-engineering: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-conductividad-termica-definicion/>
- CREE. (2020). *Historial de tarifas*. Obtenido de Comisión reguladora de energía eléctrica : <https://www.cree.gob.hn/historial-de-tarifas/>
- Cuevas, J. M., & Gonzáles, P. V. (2008). *Propiedades térmicas de los suelos para el dimensionado y diseño del sistema subterráneo mejorando la eficiencia energética de sistemas geotérmicos en climatización geotérmicos en climatización*. Madrid : AIDICO- Instituto Tecnológico de la Construcción. .
- CYPE. (2020). *Cálculo de cargas térmicas de refrigeración/ CYPETHERM ASHRAE LOADS*. Obtenido de CYPE LATINOAMÉRICA: <http://www.cypelatam.com/index.php/calculo-de-cargas-termicas-de-refrigeracion-cypetherm-ashrae-loads>
- Diaz, S. M. (enero de 2018). *El terreno como intercambiador*. Obtenido de http://oa.upm.es/49966/1/TFG_Martin_Diaz_Sergio.pdf
- Dickson, M., & Fanelli, M. (2004). *¿Qué es la Energía Geotérmica?* Pisa, Italia: Instituto di Geoscienze e Georisorse.
- ENEE. (2020). *Costo X Consumo*. Obtenido de ENEE: <http://www.enee.hn/pdfs/Costoporconsumoenergetico.pdf?rand=1354812048742&trust=98616702&format=0>
- ENEE. (2020). *Cuadro de consumo promedio mensual de Electrodomésticos*. Obtenido de ENEE: <http://www.enee.hn/index.php/atencion-al-cliente/110-consumo-electrico>
- EspacioEco. (1 de junio de 2016). *Los pozos canadienses y provenzales, geotermia de baja potencia*. Obtenido de espacio eco: <http://www.espacioeco.es/los-pozos-canadienses-provenzales-geotermia-baja-potencia/>

- Government of Canada. (2019). *RETSscreen*. Obtenido de nrcan: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/data-analysis-software-modelling/retscreen/7465>
- Herramientas de Ingenieros . (mayo de 2019). *Nueva herramienta para el cálculo de pérdidas de carga*. Obtenido de Herramientas de Ingenieros: <https://herramientasdeingenieros.com/nueva-herramienta-para-el-calculo-de-perdidas-de-carga/>
- Hollmuller y Lachal, P. (2005). *Buried Pipe System With Sensible and Latent Heat Exchange: Validation of Numerical Simulation Against Analytical Solution and Long-Term Monitoring*. Obtenido de Universite geneve: <https://archive-overte.unige.ch/unige:18031>
- Hudson, N. (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*. Reino unido: FAO FIAT PANIS.
- IIR. (2002). *Industry as a partner for sustainable development*. París: International Institute of Refrigeration.
- INE. (2018). *Quimistán, Santa Bárbara* . Quimistán: Instituto nacional de estadística.
- INE. (2020). *Revisión de la Metodología para medir la pobreza monetaria en Honduras*. Obtenido de INE: <https://www.ine.gob.hn/V3/imag-doc/2020/01/Enero-2020-Cifras-Revisadas-Pobreza-en-Honduras-30-enero.pdf>
- Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra IHCIT. (2012). *Atlas Climático y de Gestión de Riesgo de Honduras*. Tegucigalpa: Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
- Komiya, A. (14 de septiembre de 2019). *¿Qué es el análisis costo-beneficio?* Obtenido de CreceNegocios: <https://www.crecenegocios.com/analisis-costo-beneficio/>
- Mihalakakou, G., Santamouris, M., & Asemakopoulos, D. (1994). *Use of the Ground for Heat Dissipation*. Atenas: Pergamon. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(94\)90101-5](https://doi.org/10.1016/0360-5442(94)90101-5)
- Pahud, D. (2002). *Geothermal energy and heat storage*. Italia: SUPSI-DCT-LEEE.

- Peiretti, A. S. (2017). *Geotermia de baja entalpia en suelos Loessicos; casos de estudio*. Argentina: Universidad Nacional de Còrdoba.
- Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo. (1969). *Los Suelos de Honduras*. Roma: Organización de las Naciones para la Agricultura y la alimentación.
- Richardson , D. (9 de Marzo de 2015). *Duct Dynasty: Btu Formula Basics*. Obtenido de The News: <https://www.achrnews.com/articles/129070-duct-dynasty-btu-formula-basics>
- Salcedo, B. (2003). *Subalternos*. Valencia: Mas, S.L.
- Santamouris, M. (2006). *Use of earth to air heat exchangers for cooling*. Atenas: University of Athens.
- Santilli, F. A. (2014). *Energía Geotérmica de Baja Entalpia: Comprobación de presencia y análisis conceptual de aprovechamiento*. Argentina: Universidad Nacional de Cuyo Mendoza Argentina.
- Sevilla, A. (2017). *Tasa interna de retorno*. Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
- Tabak, J. (2009). *Solar and geothermal energy*. New york: Facts on File.
- Touzani, N. (2015). *Study of an Air Conditioning and Heating System Incorporating a Canadian Well in Continental Areas, cases of Rabat*. Marocco: IEEE.
- Velayos, V. (2017). *Valor actual neto*. Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

IX. ANEXOS

Ubicación de datos meteorológicos

Ver mapa

La Mesa (San Pedro Sula)

Latitud
 Longitud
 Zona climática
 Elevación
 Temperatura de diseño de la calefacción
 Temperatura de diseño del aire acondicionado
 Amplitud de la temperatura del suelo

'N 15.4
 'E -87.9
 0A Extremadamente caliente - Húmedo Fuente Suelo+NASA
 m 31 Suelo
 °C 18.2 Suelo
 °C 35.9 Suelo
 °C 6.1 NASA

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Precipitación	Radiación solar diaria - horizontal	Presión atmosférica	Velocidad del Viento	Temperatura del suelo	Grados-días de calefacción 18 °C	Grados-días de refrigeración 10 °C
	°C	%		kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Enero	23.8	84.1%	65.72	3.96	95.2	2.0	22.1	0	428
Febrero	24.9	81.8%	43.96	4.87	95.1	2.3	23.3	0	417
Marzo	26.1	76.7%	35.03	5.68	95.0	2.8	24.9	0	499
Abril	27.7	75.2%	31.50	6.12	94.9	2.7	26.8	0	531
Mayo	28.4	74.7%	80.60	5.81	94.8	2.9	27.0	0	570
Junio	28.5	75.8%	130.80	5.74	94.8	2.7	26.1	0	555
Julio	27.5	79.6%	122.76	5.61	95.0	2.4	25.4	0	543
Agosto	27.8	79.4%	122.14	5.72	94.9	2.3	25.5	0	552
Setiembre	28.0	79.0%	132.60	5.45	94.8	2.4	25.2	0	540
Octubre	26.7	82.4%	131.44	4.46	94.9	2.1	24.3	0	518
Noviembre	25.1	85.1%	95.70	3.84	95.0	1.9	23.0	0	453
Diciembre	23.9	86.3%	74.71	3.60	95.1	1.9	22.1	0	431
Anual	26.5	80.0%	1,066.96	5.07	95.0	2.4	24.6	0	6,036
Fuente	Suelo	Suelo	NASA	NASA	NASA	Suelo	NASA	Suelo	Suelo
Medido a						10	0		

Anexo 1. Datos RETScreen

Aire acondicionado Samsung Inverter de 12,000 BTU

SKU: AR12MV/AR12KX/FSC14+SOPOR

~~L. 19,995.00~~ L. 18,995.00

AHORRA L. 1,000.01 (5%)



- > Capacidad (BTU) - 12,000 BTU
- > Tecnología Compresor - Digital Inverter
- > Eficiencia Energética (SEER) - 12 A++
- > Ahorro Energético - 68% sobre un aire convencional
- > Refrigerante - R410A (Gases Fluorados, GWP=2,088)

Anexo 2. Aire acondicionado 12,000 BTU.



AIRx ALLERGY 14x14x1 MERV 11 Pleated Air Filter - Made in the USA - Box of 6
 by AIRx FILTERS WICKED CLEAN AIR.
 ★★★★★ 680 ratings

Price: **\$28.95** + \$101.45 Shipping & Import Fees Deposit to Honduras [Details](#)

Size: **14Wx14L**

14Wx14L \$28.95	20x20x1 \$32.99
---------------------------	--------------------

- MERV 11 furnace filter premium pleated filter, actual size 13.5" x 13.5" x .75"
- Traps mold, pet dander, smoke particles, pollen and dust mite debris for allergen protection
- More pleats than most retail air filters - better energy efficiency and captures more particles
- Made in USA
- Compare to 3m Filtrete micro particle MPR800 and Filtrete allergen MPR1200 filters

▶ [See more product details](#)

Click image to open expanded view



Anexo 3. Filtro de aire



iPower GLFANXINLINEEXPC8 8 Inch 550 CFM Inline Duct Fan with Variable Speed Controller Ventilation, Quiet HVAC Exhaust Blower, 8" Fan & Speed, Black
 by iPower
 ★★★★★ 2 ratings

Price: **\$95.99** + \$176.81 Shipping & Import Fees Deposit to Honduras [Details](#)

Available at a lower price from [other sellers](#) that may not offer free Prime shipping.

Size: **8" Fan & Speed Controller**

4" Fan & Speed Controller \$65.99
6" Fan & Speed Controller \$79.99
8" Fan & Speed Controller \$95.99

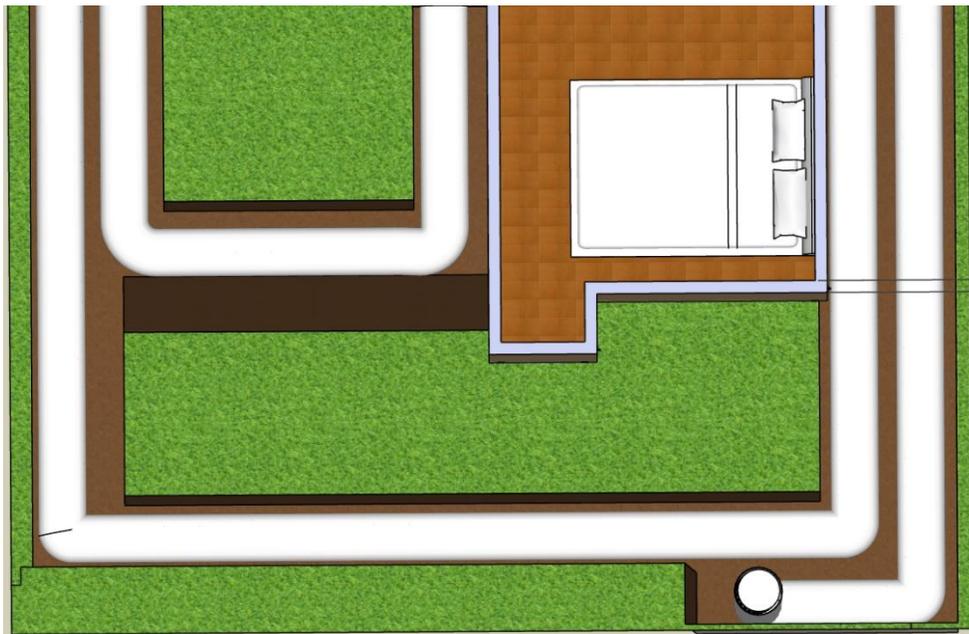
Roll over image to zoom in



Anexo 4. Ventilador iPower.



Anexo 6. Entrada de tubería a la casa



Anexo 7. Comienzo de tubería con filtro.