



## CLIMATIZACIÓN GEOTÉRMICA DE CASAS HABITACIÓN MEDIANTE POZOS CANADIENSES

**Sergio Alberto MIJARES ALMANZA**

Universidad Tecnológica de la Región Centro de Coahuila (México)  
sergio.mijares@utrcc.edu.mx

**Sandra María SAN MIGUEL IZA**

Universidad Tecnológica de la Región Centro de Coahuila (México)  
sandrasanmigueliza@utrcc.edu.mx

**Roberto Aldo GONZÁLEZ ZARAZÚA**

Universidad Tecnológica de la Región Centro de Coahuila (México)  
aldo.gonzalez@utrcc.edu.mx

**Judith Araceli GONZÁLEZ PUENTE**

Universidad Tecnológica de la Región Centro de Coahuila (México)  
judith.gonzalez@utrcc.edu.mx

**Francisco MARTÍNEZ FALCÓN**

Universidad Tecnológica de la Región Centro de Coahuila (México)  
francisco.martinez@utrcc.edu.mx

**Blanca Margarita RANGEL GONZÁLEZ**

Universidad Tecnológica de la Región Centro de Coahuila (México)  
blanca.rangel@utrcc.edu.mx

Recibido: 11 de septiembre del 2022

Enviado a evaluar: 20 de septiembre del 2022

Aceptado: 22 de diciembre del 2023

### RESUMEN

En el presente trabajo, se analizan los sistemas geotérmicos conocidos como pozos canadienses, estos, consisten en hacer pasar aire por unos conductos enterrados consiguiendo subir su temperatura en épocas de invierno y bajarlas en verano, debido a la transferencia de calor por el contacto con la tierra a determinada profundidad. Dicho proceso geotérmico en relación con el medio ambiente, permite ahorros en el consumo de energía eléctrica al tiempo que evita la emisión de gases de efecto invernadero que estos generan. Para medir los resultados, se utilizaron 3 termómetros para registrar temperaturas dos veces al día, durante los meses de agosto, septiembre y una semana de octubre colocados en la habitación de estudio, en una habitación de control y otro al exterior de la vivienda. Los datos generados se analizaron gráficamente y se encontró que el uso de este sistema permite la reducción en la temperatura de la habitación, aunque su eficiencia es aún mejorable.

**Palabras clave:** Climatización, geotermia, pozos, Canadá.

## GEOHERMAL HOME CLIMATE CONTROL THROUGH CANADIAN WELLS

### ABSTRACT

In the present study, an analysis is conducted on a geothermal system known as "Canadian wells." These systems involve the passage of air through buried ducts, resulting in an increase in air temperature during winter and a decrease during summer, as a result of heat transfer through contact with the earth at a specific depth. The use of environmentally friendly systems leads to savings in electrical energy consumption while mitigating the emission of greenhouse gases typically associated with conventional heating and cooling methods. To measure the outcomes, three thermometers were employed to record temperatures twice daily throughout the months of August, September, and one week in October. These thermometers were strategically placed in the study room, a control room, and an outdoor location. The data generated were analyzed graphically, revealing that the implementation of this system contributes to temperature reduction within the living space, although there is room for further improvement in its efficiency.

**Keywords:** Air conditioning, geothermal, wells, Canada.

## CLIMATISATION GÉOTHERMIQUE DES CHAMBRES PAR PUIITS CANADIENS

### RÉSUMÉ

Dans la présente étude, une analyse est réalisée sur un système géothermique connu sous le nom de "puits canadiens". Ces systèmes consistent à faire passer de l'air à travers des conduits enterrés, entraînant une augmentation de la température de l'air en hiver et une diminution en été, résultant du transfert de chaleur par contact avec la terre à une profondeur spécifique. L'utilisation de systèmes respectueux de l'environnement permet des économies de consommation d'énergie électrique tout en contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre généralement associées aux méthodes conventionnelles de chauffage et de climatisation. Pour mesurer les résultats, trois thermomètres ont été utilisés pour enregistrer les températures deux fois par jour tout au long des mois d'août, de septembre et d'une semaine en octobre. Ces thermomètres ont été placés stratégiquement dans la salle d'étude, une salle de contrôle et un emplacement extérieur. Les données générées ont été analysées graphiquement, révélant que la mise en œuvre de ce système contribue à la réduction de la température à l'intérieur de l'espace habitable, bien qu'il reste des possibilités d'amélioration de son efficacité.

**Mots-clés:** Climatization, géothermie, puits, Canada.

## 1. INTRODUCCIÓN

El hombre en México y el mundo en general, presenta una creciente dependencia de energía en todas sus formas, pero principalmente eléctrica. Esta dependencia es impulsada por el crecimiento demográfico y socioeconómico, es decir, aumenta el número de consumidores, y la cantidad de energía eléctrica consumida por cada uno de ellos.

En su comunicado de prensa 541/18, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2018) menciona que, "el 45% de las viviendas particulares habitadas ubicadas en localidades urbanas, utilizan ventiladores, mientras que en las localidades rurales este dato es de 41%.

En el país, tenemos un total de 7 millones de equipos de aire acondicionados y solo en el norte del país donde residimos, contamos con 5.6 millones del total". El problema a partir de aquí es que esta situación se ha convertido en un círculo vicioso en el que las altas temperaturas ambientales provocan que el hombre busque mejores formas de protegerse de ellas, generando mayor consumo de energía y, por ende, mayores emisiones que a su vez vuelven a generar incrementos en las temperaturas.

El uso de energías convencionales basadas en combustibles fósiles nos ha encaminado hacia un alarmante aumento en la generación de Gases de Efecto Invernadero, por sus siglas, GEI lo cual ha desembocado en un incremento en la temperatura promedio mundial conocida como calentamiento global. La matriz energética actual ha tenido como consecuencia el agotamiento de recursos naturales y un fuerte impacto sobre el medio ambiente. Para poder disminuir este efecto, es importante conocer el uso eficiente de la energía, de ahí la búsqueda de nuevas alternativas para su obtención.

El uso desmedido de sistemas de climatización artificial, que desde su producción y hasta su uso y desecho, afecta el medio ambiente debido a la generación de contaminantes, nos ha obligado a buscar alternativas sustentables para obtener un confort equiparable provisto por estos equipos antes mencionados, pero con un costo ambiental reducido en la región centro de Coahuila donde en verano, se alcanzan temperaturas de hasta 50 grados centígrados, por lo que nos planteamos el cuestionamiento, ¿el uso de pozos canadienses ayudará a mitigar las altas temperaturas presentes en las casas habitación de la región estudiada?

## **2. OBJETIVOS**

Objetivo general: Determinar si el uso de pozos canadienses ayudará a mitigar las altas temperaturas presentes en las casas habitación de la región estudiada.

Objetivos Específicos:

- Investigar el estado del arte de la tecnología denominada pozos canadienses.
- Analizar las condiciones actuales del clima en la región.
- Implementar una tecnología recientemente aplicada en diversos lugares del mundo conocida como provenzales o pozos canadienses.
- Analizar los resultados a partir de la implementación de dicha tecnología.

## **3. ANTECEDENTES**

Una definición bastante simple y aceptada de este tipo de energía es la siguiente: "La energía geotérmica es una fuente de energía renovable que aprovecha el calor que existe en el subsuelo de nuestro planeta. Sus principales aplicaciones se dan en nuestra vida cotidiana: climatizar y obtener agua caliente" (Energía Geotérmica, s.f.).

La creciente demanda de una estrategia para enfrentar el reto de los problemas energético-ambientales a nivel mundial lleva a la necesidad de investigar y desarrollar conocimientos sobre el uso de los recursos naturales renovables como potencial fuente energética.

Por lo expuesto anteriormente y dadas las necesidades de ahorro energético en la sociedad actual se ha intentado abordar muchas soluciones prácticas para mejorar la eficiencia de las instalaciones con mayor consumo en el sector terciario. Esto es, los sistemas de climatización. Una de estas soluciones estudiadas es el aprovechamiento de la energía geotérmica basado en la climatización de ambientes con la técnica de pozos canadienses (tubos enterrados o provenzales). La opción de llevar a cabo una investigación de este tema en particular, surge debido al impacto de la temperatura cuya tendencia es de aumento durante las últimas décadas.

El calentamiento global se puede definir como el aumento de la temperatura de la superficie de la tierra, no confundir con el cambio climático, según menciona la página de clima del país de Estados Unidos de América, "el calentamiento global es un síntoma del mayor problema del cambio climático causado por los seres humanos, éste, es debido al rápido aumento del dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero causado por personas que queman carbón, petróleo y gas." (Kennedy & Lindsey, 2018).

Se podría decir que la acción ambiental se oficializó en 1968, al fundarse el club de Roma, el cual se conformó con el principal objetivo de mejorar el bienestar de la gente en lo económico y lo social a través de investigaciones científicas y sociales por medio de los miembros de este selecto y humanitario grupo de personas comprometidas con este fin. Seguido de esto, en 1979 se llevó a cabo la Primera Conferencia Mundial sobre el Clima, a cargo de la Organización Meteorológica Mundial; seguido de estas, hubo cada vez más eventos, siendo el más destacable El Protocolo de Montreal, relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO), el 16 de septiembre de 1987, fue firmado por 46 naciones, como resultado final de los objetivos establecidos por el Convenio de Viena y el Primer tratado del cambio climático adoptado en diciembre de 1997 en Kioto, Japón.

Todos ellos se encaminaban al cuidado del medio ambiente para la preservación de nuestro planeta, centrándose principalmente en las emisiones liberadas al medio ambiente y en los cuales se pretendía atacar las principales fuentes de emisión de dichos contaminantes, producto de la generación de las diversas formas de energía, principalmente las que utilizan combustibles fósiles para cumplir su objetivo.

Si bien, ninguna energía es totalmente limpia y puede generar, por lo menos de forma indirecta, algún tipo de emisión o transferencia de sustancias y contaminantes producto de su proceso, también es de conocimiento casi general el hecho que unas tecnologías contaminan más y de peor manera que otras, en este entendido, la tendencia, fuera de los confines del interés de la producción en masa, se trata de elegir y desarrollar las tecnologías que nos permitan la menor cantidad y peligrosidad posible a fin de no contribuir en gran medida con esta problemática que se presenta hoy en día en casi cualquier proceso productivo. Como se menciona (Catalán Alonso, 2021) "resulta relevante estimar la relación de largo plazo entre las emisiones de los GEI y el consumo de energías limpias o renovables, y su potencial impacto en la reducción de emisiones. Si bien diferentes investigaciones se centran en la construcción de escenarios prospectivos de una potencial reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y de otros GEI" nosotros mismos podemos encaminar nuestros esfuerzos e investigaciones a tratar de determinar si en realidad las energías renovables son tan limpias como nos han hecho creer, o mejor aún y buscando ser lo más fiel posible a los objetivos científicos, determinar

que tan mejores son dichas energías, en comparación con las convencionales y de ser posible, cuáles de estas son las que mejor nos ayudarían a reducir significativamente nuestra huella de carbono para mejorar nuestra calidad ambiental.

A pesar de que en su estudio Hernández determinó que, “Los sectores con mayores emisiones de GEI producen una quinta parte del PIB y emplean más de un tercio de la fuerza laboral del país (35.6%). Se concentran en la ganadería, algunos agroindustriales, transporte y electricidad”, (Hernández, 2021) no debemos olvidar que cada uno de los sectores productivos tienen su porcentaje de generación de contaminantes y que todos los esfuerzos suman en este proceso de ambientalización de los procesos. Además, es importante crear conciencia de que todas las áreas y sectores son susceptibles de transversalidad en sus aplicaciones; con esto debe entenderse que una tecnología y/o una aplicación puede ser utilizada en más de un sector extrapolando su uso y sus beneficios hacia otros, llevando a cabo una cadena de valor que nos permita mejorar la situación actual en cuanto al uso desmedido de energía, potencializando así los beneficios de un estudio o investigación.

Uno de los casos que se presentan en este escenario para la reducción del uso de energías convencionales (y por ende, la reducción de gastos) es la generación propia, por medios no convencionales, de la energía a utilizar, siendo la energía solar fotovoltaica y la generación por medios eólicos las más recurrentes en este ámbito, y dependiendo del tipo de tecnología utilizada “Dependiendo del tipo de combustible que se emplee para las plantas de autogeneración tendrá mayor o menor cantidad de GEI como subproducto” (Pérez & Osal, 2018).

#### **4. MARCO TEÓRICO**

La utilización de energía geotérmica supone una fuente inagotable que nos permitiría, de ser aprovechada eficientemente, cumplir con la mayoría de los requerimientos energéticos presentes en la actualidad. Uno de estos usos ha sido aprovechado desde tiempos remotos en los llamados pozos canadienses o pozos provenzales los cuales aprovechan el aislamiento térmico que ofrece el suelo a una determinada profundidad, dando como resultado temperaturas constantes y que aumentan conforme aumenta la profundidad de la perforación; son prácticamente independientes del clima en la superficie lo que permite el aprovechamiento en diversos y muy variados usos en la actualidad, desde los más sofisticados como el bombeo de fluidos que son objeto de intercambio térmico debido a estas altas temperaturas y el cual es aprovechado en la generación de energía eléctrica mediante la generación de vapor, hasta las utilidades más sencillas como el acondicionamiento climático habitacional, técnica que ha sido utilizada por nuestros antepasados desde la prehistoria.

El avance del entendimiento de los fenómenos termodinámicos nos ha permitido, a lo largo de este lapso, adaptar y corregir dicha tecnología para mejorar la eficiencia del intercambiador de calor dando como resultado adecuaciones que permiten incluso instalar en un edificio completo, siguiendo el hombre en su constante búsqueda de obtener y mejorar sus condiciones de vida.

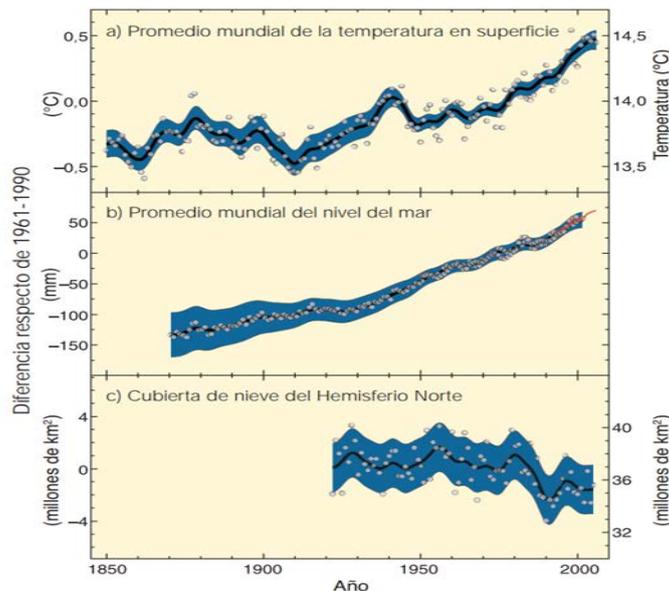
En ese mismo rumbo, las constantes mejoras a las condiciones de vida que actualmente nos han llevado a un nivel nunca antes visto en la historia y derivado de éstas, se han producido serios y amenazantes problemas

ambientales sobre los que recae la tecnología, automatización, producción en masa y sobrepoblación que impera hoy en nuestro planeta, dando como resultado que, para satisfacer lujos que actualmente llamamos necesidades, ha desatado una serie de problemáticas tales como la contaminación y más específicamente la constante y elevada emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y como principal compuesto emitido por las nuevas tecnologías (llamadas así tomando en cuenta que tienen menos de 250 años desde la aparición de la máquina de vapor, precursora de la gran revolución industrial) tenemos al dióxido de carbono mejor conocido como CO<sub>2</sub>, el cual es emitido como producto de la reacción en la quema de combustibles fósiles tales como gasolina y carbón, ampliamente utilizados en los vehículos automotores y en la generación de electricidad, respectivamente.

Se cree que este tipo de emisiones son las principales causantes de una serie de fenómenos meteorológicos que se concentran en un término común: Cambio climático. Se estima que más de la mitad de la electricidad en Europa proviene de la quema de combustibles fósiles, en especial del carbón, lo cual representa cerca del 30% de la producción eléctrica total en la unión europea. A partir de 2005, se calcula que el aumento en la producción de electricidad basada en la quema de carbón está generando cerca del 24% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en todos los sectores (Cabezas A. M., 2013).

Durante los últimos 650mil años el CO<sub>2</sub> distribuido en la atmosfera se mantuvo en rangos que oscilan entre las 180 a 280 ppm (partes por millón), concentración que se vio afectada, entre otras causas, por el aumento de la vida industrial en las comunidades y asentamientos donde se acostumbraba a vidas meramente rurales; con la llegada de la industrialización, estos rangos habituales han ido aumentando hasta alcanzar niveles de 400 ppm, tendencia que va a la par con el crecimiento demográfico (Santos Virgen, Argeca Ponce, & Preciado Álvarez, 2014).

Figura 1. Variaciones en temperatura, nivel del mar y cubierta de nieve del hemisferio norte.



Fuente IPCC, 2007. Cuarto Informe de Evaluación

El crecimiento constante de la demanda por parte de los usuarios de estos servicios ha permitido que el aumento de dichas emisiones también sea constante, hasta el punto de convertirse en una problemática que aqueja a todos los lugares del planeta a tal punto que se ha incluido como uno de los principales puntos a tratar en la agenda 2030 para el desarrollo sostenible, asignando a este punto los números 7 (Objetivo 7: energía asequible y no contaminante) y 13 (Objetivo 13: acción por el clima) de los objetivos establecidos en la agenda (ONU, 2022).

En nuestro caso, el uso de intercambiadores de calor del tipo Tierra-Aire, cada vez han ido tomando fuerza, debido a que implican pocos gastos de instalación así como de mantenimiento y prácticamente nulos gastos de operación, por lo que aunado a su característica de cero emisiones, se convierte en una opción bastante viable y asequible, principalmente para comunidades sin el acceso a equipos de acondicionamiento de aire costosos e incluso en algunos casos, comunidades que no cuentan con una red eléctrica como tal, así como su uso adaptado a graneros o invernaderos que no requieren un cambio tan drástico en la adecuación climática.

Como se mencionó anteriormente, los intercambiadores tierra-aire aprovechan la temperatura presente en las capas adyacentes a la superficie del suelo para enfriar o calentar, según sea el caso, el aire que se introduce al interior de la habitación por medios naturales como lo es el efecto chimenea o con la utilización de equipos tales como extractores de aire que fuerzan al movimiento de la masa de aire, permitiendo que en el trayecto, durante el verano, que el aire baje su temperatura o bien durante el invierno, que la aumente por acción del fenómeno denominado convección.

Dando un salto en el tiempo debido a que los siguientes descubrimientos son muy parecidos, podemos citar una tesis de edificaciones del periodo neolítico, en las que se analiza un caso concreto este es, Corno la ciudad troglodítica de Pantalica en Sicilia (Italia), es posible encontrar pequeños y rudos espacios excavados por los Siculi. (Piedecausa García, 2009).

También en ese periodo neolítico se han descubierto distintas arquitecturas enterradas en China, como lo son las provincias de Honnan, Shensi y Kansu; dichas edificaciones establecidas en terrenos con material arcilloso de alta porosidad (arriba del 45%) que puede ser tallado con facilidad, pero a la vez con una dureza que permite resistir la erosión (Piedecausa García, 2009).

Dichas edificaciones fueron ampliamente aprovechadas por el hombre de ese momento, ya que garantizaban una temperatura de partida cómoda para subsistir a los climas extremos que se presentaban, lo que, aunado a otros métodos de control climático, proveen de un refugio habitable y hasta confortable en cuanto a la temperatura se refiere.

Así, las chimeneas, la distribución de espacios, la conducción de aguas, la excavación de patios, la orientación, el control de radiación solar o los volúmenes añadidos, consiguen las condiciones de confort necesarias de fuentes de energía renovables (Cabezas, 2012).

La primera ciudad entera de la que se tiene conocimiento se encuentra en la Región de Capadocia, en Turquía, edificada hacia el año 1400 a.C. nombrada como Derinkuyu, la cual cuenta con 20 niveles conocidos a una profundidad de 40 metros, aunque se cree que existen cerca de 20 niveles más para llegar a una profundidad de 85 metros bajo el nivel del terreno. Dicha ciudad cuenta con túneles y habitáculos además de los ductos que

ventilan y aclimatan el aire y la temperatura interior para dar una sensación de confort a sus habitantes, se han encontrado 52 pozos de ventilación exclusivos para este fin.

Figura 2. Habitación en la ciudad subterránea de Derinkuyu.



Fuente: Nevit Dilmen

Desde la década de los años 70 a la actualidad, las nuevas tecnologías encaminadas principalmente con rumbo de la sostenibilidad en materia de reducción de emisiones, ha hecho resurgir este tipo de diseños que permiten climatizar, de forma que el interés ha crecido, sobre todo a recientes fechas, puesto que en los años recientes se han intentado replicar este tipo de diseños buscando aumentar su eficiencia para que no solo sean considerados como mecanismos de precalentamiento o pre enfriamiento del aire que ingresa al interior de la habitación, sino que permitan que por sí solos sean capaces de climatizar un área específica con base en el diseño fundamental pero haciendo adecuaciones que nos lleven a la temperatura cercana a la ideal.

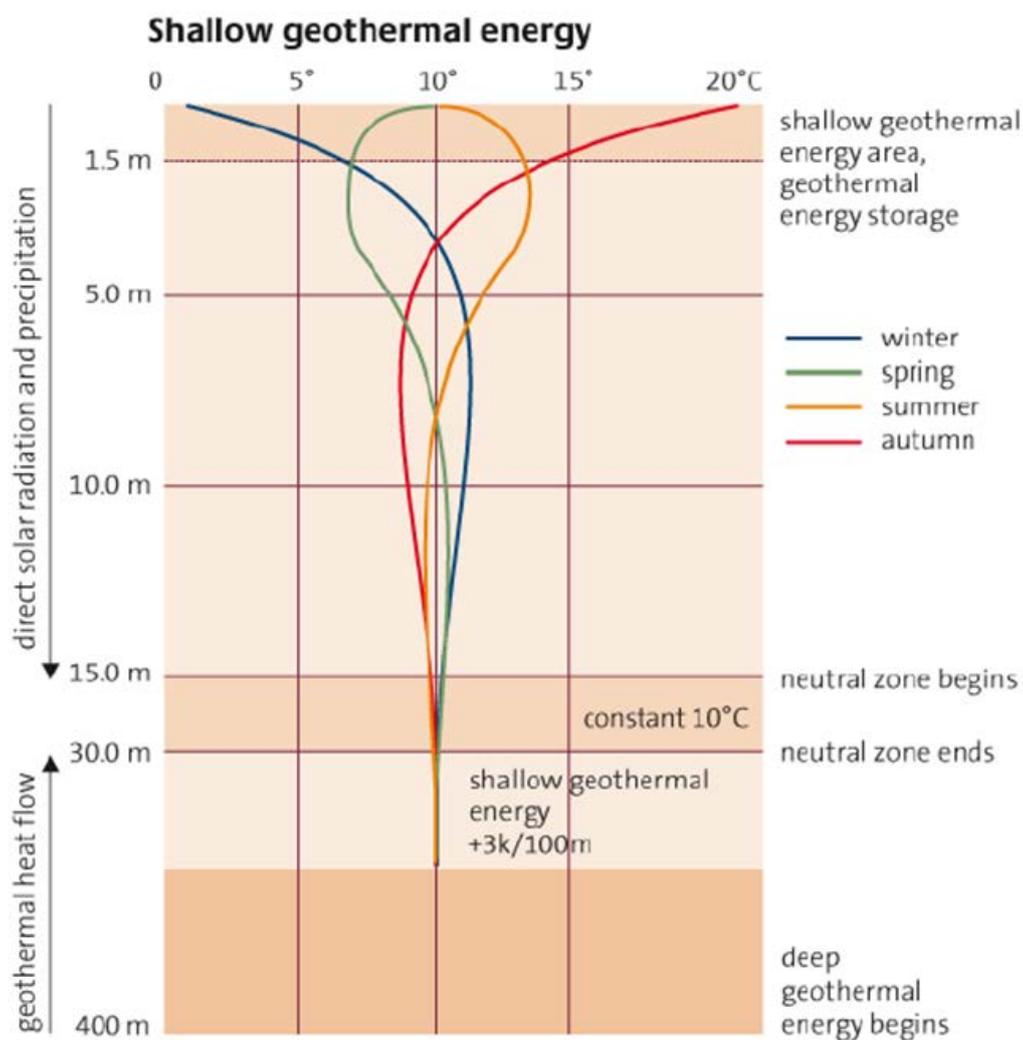
Como se menciona en recientes fechas en múltiples trabajos de tesis de grado y postgrado, así como investigaciones científicas publicadas en revistas y sitios web especializados alrededor del mundo, en las que se investigan los también denominados pozos geotérmicos tomando en cuenta consideraciones ecológicas y ambientales, así como legislativas y técnicas para su diseño como lo menciona Moel (Vielma Sossa, 2013) y con variaciones como lo son el aprovechamiento térmico por convección a partir de cuerpos de agua subterráneos ya que estos flujos regionales o locales facilitan el transporte de calor dentro de la red (Llopis Trillo & Rodrigo Angulo, 2008).

Por otra parte, las especificaciones técnicas más detalladas tales como dimensiones, volúmenes, materiales, etc., fueron reportadas por (Flores Larsen y Lesino, 2000; Gauthier et al., 1997; Mihalakakou et al., 1994) llegando a conclusiones como que la temperatura de salida del aire, depende fuertemente de la temperatura de entrada y que también tiene una fuerte incidencia de la hora del día; además de que el tipo de suelo influencía el comportamiento térmico del sistema y se requieren preferentemente una velocidad cercana a 4 m/s para lograr un intercambio térmico más eficiente.

## 5. BASES TEÓRICAS QUE SUSTENTA

La reflexión sobre el estudio de construcción ancestral, y la concientización del cambio climático ha llevado a que en la actualidad el tipo de vivienda a construirse está basada en principios de bajo consumo de energía y agua, que mantenga el calor en invierno y el frío en verano, que sea respetuosa con el medioambiente y que sea beneficiosa para la salud de quien habita en ella (Aulí, 2005).

Figura 3. Comportamiento de las temperaturas del suelo cercanas a la superficie.



Fuente: DENA, 2013, como se citó en Vielma Sossa, M. S. (2013).

En este sentido, la región en la que se pretende llevar a cabo el estudio es conocida por tener clima seco y extremo que en los meses de invierno han llegado a mínimas de 8 grados Celsius y en verano se han registrado temperaturas de hasta 48 grados, habitualmente estando por encima de los 40 grados (SMN, 2016) siendo ésta la principal razón para realizar dicho estudio.

Como principio, los sistemas geotérmicos superficiales son aquellos en los que el aprovechamiento del calor proviene de los estratos superiores de la tierra, tomando como origen energético el calor que la tierra absorbe a partir de recibir los rayos del sol además del calor que la tierra emana desde el interior de la tierra hacia la superficie. Con ello se han reportado tendencias que sitúan la temperatura en rangos aceptables dentro de niveles de profundidad específicos y con temperaturas de aire de entrada específicos, como se ilustra en la imagen 3.

De acuerdo con esto, las temperaturas de entrada cercanas a 20 grados tienden a disminuir hasta mantenerse en el rango de los 10 grados a 10 metros, pero en el rango en que se pretende proponer en la presente investigación de 1.5 metros de profundidad, la temperatura del aire ronda el rango de los 15 grados Celsius, reducción bastante aceptable para ser un diseño de baja eficiencia.

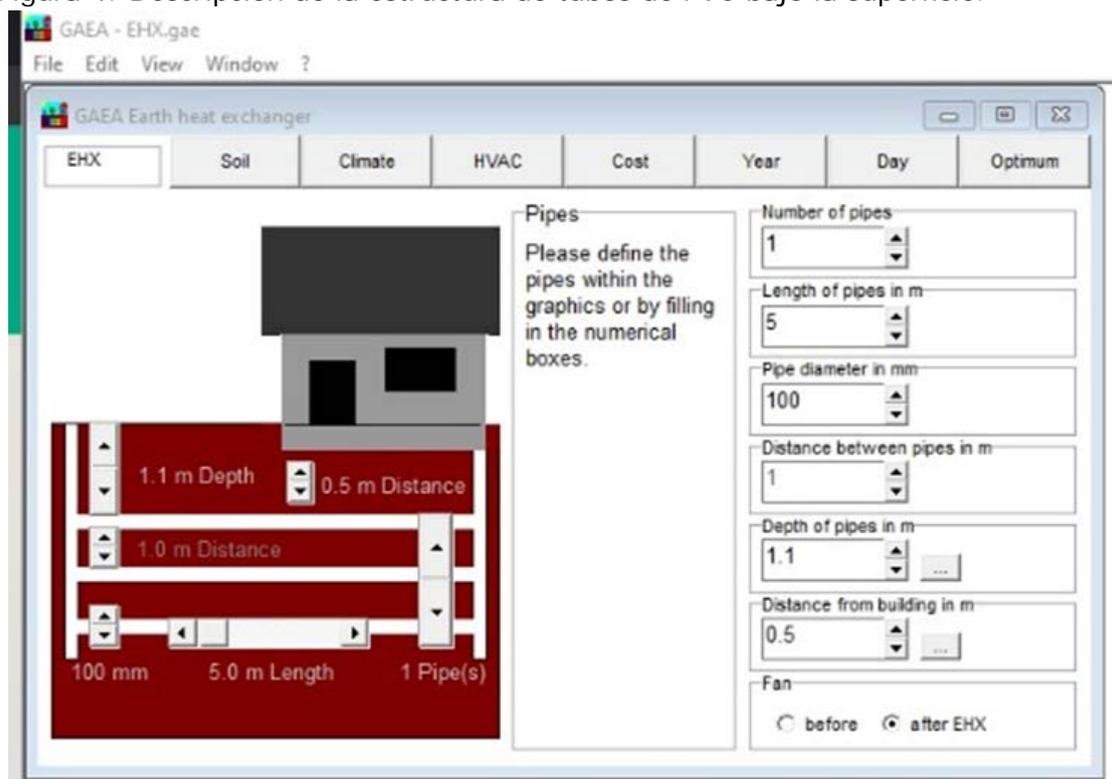
En una instalación habitual el aire llega por la tubería hacia el del pozo por medio de una toma de aire debidamente protegida de la entrada de intrusos o partículas, avanza por las tuberías enterradas, gracias a un sistema de bombeo de aire y es repartido en la habitación, permitiendo así una renovación de aire al interior.

## **6. METODOLOGÍA**

La investigación realizada se efectuó bajo un enfoque cuantitativo en el cual se contabilizará la cantidad de grados Celsius que la implementación puede, o no, reducir la temperatura al interior de la vivienda por medio de la introducción dirigida, mediante tuberías conductoras del flujo de aire; dichas tuberías enterradas permitirán que en el trayecto hasta el interior de la vivienda, la energía calorífica que lleva dicho flujo, sea transferida a la tierra por medio del contacto de la tubería con esta, absorbiendo el calor presente en el flujo de aire permitiendo la entrada de un aire más fresco (o cálido, en el caso de la temporada de frío) lo que permitirá tener una habitación con un clima más confortable.

Diseño gráfico de intercambiadores de calor geotérmicos (GAEA). Es un software desarrollado por la universidad alemana de Siegen el cual fue utilizado para comprobar la factibilidad del prototipo en el cual se introducen los datos específicos de la implementación.

Figura 4: Descripción de la estructura de tubos de PVC bajo la superficie.



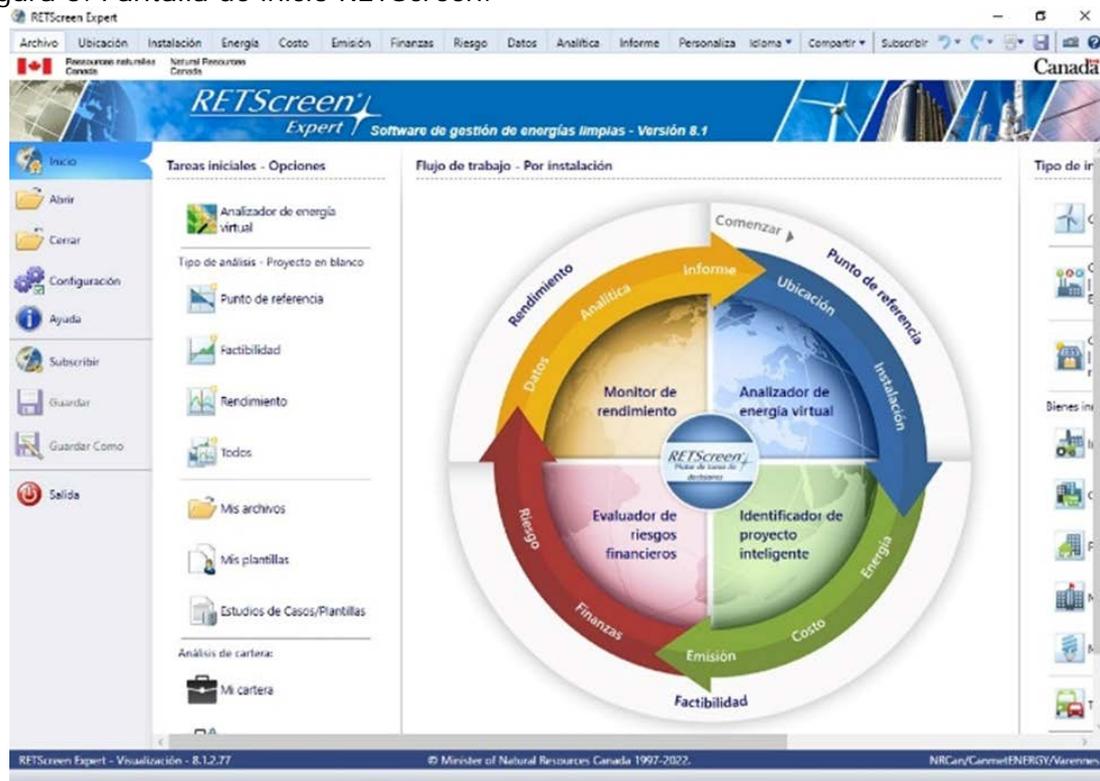
Fuente: Elaboración propia.

Además del análisis realizado con el programa GAEA, se realizó una revisión del proyecto por medio de RETScreen, en su versión de visualización, el cual es un paquete de programas desarrollado por el Gobierno de Canadá. El software permite la identificación exhaustiva, la evaluación y la optimización de la viabilidad técnica y financiera de proyectos potenciales de energía renovable y de eficiencia energética; igualmente, permite la medición y verificación del rendimiento de instalaciones, así como la identificación de oportunidades de ahorros/producción energética.

El siguiente paso consistió en hacer una simulación mediante los programas descritos, con el fin de previsualizar los resultados conforme a las características que presenta la ubicación en la que se pretende instalar el dispositivo mediante una simulación que toma en cuenta el tipo de suelo, las temperaturas predominantes en la región, la instalación en sí como tal y sus características tales como el material y la longitud y diámetro de la tubería a utilizar, dando el resultado como positivo para mantener una temperatura más confortable permitiendo bajar hasta en 9 °C la temperatura de salida de la corriente de aire, enfriada a lo largo del conducto de PVC. Por otra parte, se llevó a cabo un segundo análisis para determinar y comparar los gastos energéticos y económicos, así como la generación de GEI que supone la instalación de un arreglo geotérmico en comparación con un ventilador convencional, dando como resultado la nula generación de gases de efecto invernadero y un beneficio económico-energético por parte de la propuesta presentada en la investigación. El resto de la investigación continua en una metodología cuantitativa, en la que se mide y evalúa de forma experimental, un fenómeno de transmisión energética, a través de la contabilización de la temperatura presente en el flujo de aire al interior de la vivienda, los cuales serán analizados de forma estadística para hacer la comparativa correspondiente que nos permita

obtener resultados que generen conclusiones para continuar, o en su caso mejorar el arreglo de la instalación y hacerlo más eficiente.

Figura 5. Pantalla de inicio RETScreen.

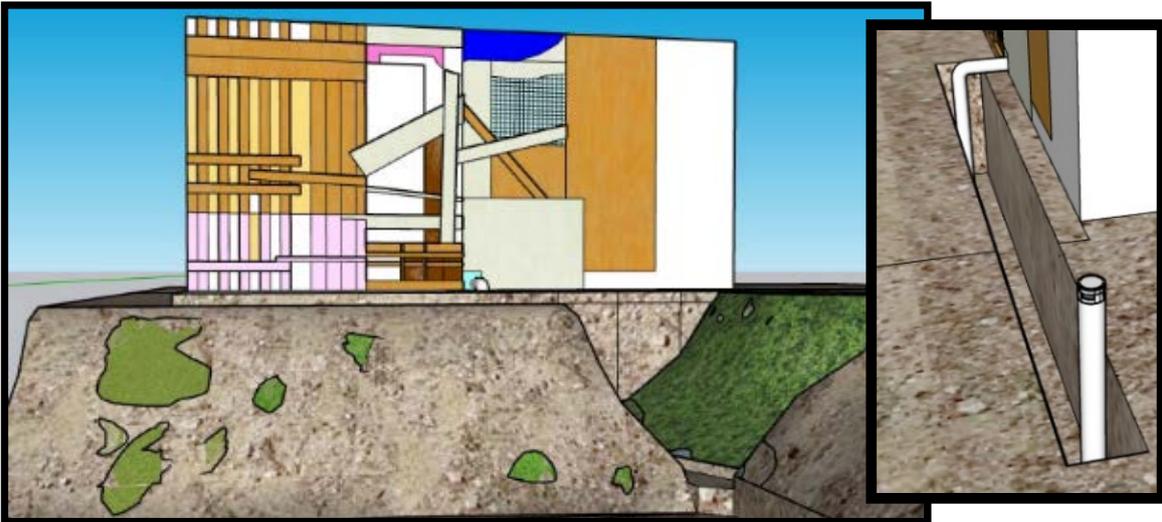


Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se procede a cavar un pozo en un terreno de suelo denominado como arcilloso y que se encuentra ubicado en el patio de una casa-habitación localizada en la ciudad de Monclova Coahuila. La instalación por la parte inicial tiene una toma de aire con una rejilla que servirá como medio filtrante de hojas e insectos con una apertura de 2 mm, quedando a una altura de aproximadamente 60 cm y estará enterrado a 1.2 metros de profundidad, para recorrer una distancia horizontal de 5 metros hasta subir y llegar a una habitación en la que estará la salida de aire con el mencionado filtro de corteza de eucalipto y pino; más adelante en esa habitación, se encuentra el termómetro con el que se estará tomando la temperatura; para la conducción del flujo de aire se utilizará tubería de 4 pulgadas de diámetro de material de PVC (policloruro de vinilo) como conductor del flujo de aire. La decisión de utilizar tubería de este material plástico obedece a que se pretende aprovechar algunas de las principales características del material como lo son:

- El PVC es prácticamente invulnerable a la corrosión tanto subterránea y de exteriores como en el interior. Así que mientras muchos fabricantes de sistemas de tuberías exploran soluciones a la corrosión que afecta a sus materiales, el PVC se mantiene resistente.
- Usar PVC ofrece un ahorro significativo en los costos para un proyecto, más aún cuando se toman en cuenta el bajo costo de instalación, el hecho de que no se rompe y su baja necesidad de mantenimiento. Todo esto sin mencionar su durabilidad, que hace que no tengan que reemplazar frecuentemente.
- Se han llegado a registrar más de 50 años de vida útil en tuberías de PVC y se estima que pueden llegar a durar más de 100 años.

Figura 6. Diseño del Pozo canadiense.

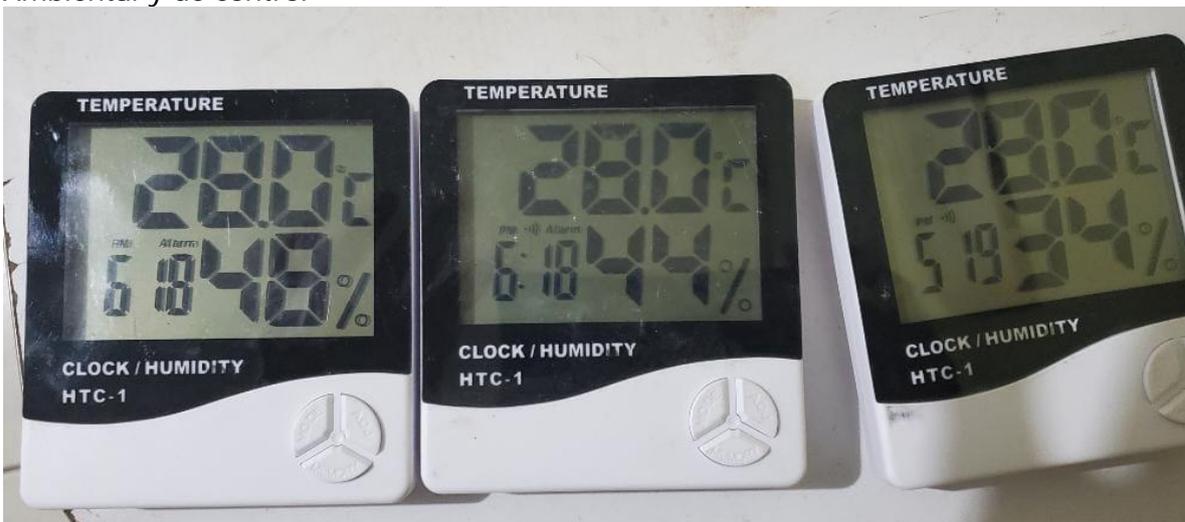


Fuente: Elaboración propia.

## 7. MUESTREO

Se tomaron temperaturas diariamente en los meses de agosto, septiembre y una semana de octubre, temprano por la mañana entre las 5:00 y las 5:30 horas y por la tarde aproximadamente entre 16:30 y 17:00 horas, en los tres dispositivos ubicados en la habitación ventilada, en la habitación de control y al exterior de la vivienda, siendo registradas en la bitácora correspondiente. Mismas que se analizaron y se presentaron por medio de una tabla y una gráfica que nos permita analizar el comportamiento de las temperaturas recabadas.

Figura 7. Termómetros para la medición de las temperaturas de climatización, Ambiental y de control



Fuente: Elaboración propia.

Para la recolección de datos se utilizaron 3 termómetros ambientales marca HTC-1 los cuales fueron ubicados de acuerdo a la variable que se desea medir, quedando finalmente el siguiente arreglo: para la temperatura

de climatización, que se refiere a la temperatura recabada en el área ventilada por medio de la implementación, se coloca el termómetro al interior de la habitación en la que se implementó la ventilación; en el caso de la Temperatura ambiental, que fue la que se tomó a la intemperie, el termómetro fue colocado en la pared exterior de la vivienda y, por último, la temperatura de control, recabada nuevamente al interior de la casa, pero en un cuarto contiguo en el cual no se tiene la ventilación implementada; con ello, podemos tomar la temperatura exterior como una variable independiente la cual podemos comparar con las temperaturas interiores, tomando como base una temperatura de control y por último la temperatura de la habitación climatizada.

## 8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

Se tomaron temperaturas diariamente en los meses de agosto, septiembre y la primera semana de octubre, temprano por la mañana entre las 5:00 y las 5:30 horas y por la tarde aproximadamente entre 16:30 y 17:00 horas en los tres dispositivos ubicados en la habitación ventilada, en la habitación de control y al exterior de la vivienda, además de hacerse un registro electrónico para facilitar su posterior análisis en el programa Matlab sacando un promedio de cada uno de los horarios y de cada una de las variables a analizar (temperatura de climatización, Temperatura de control y temperatura ambiental).

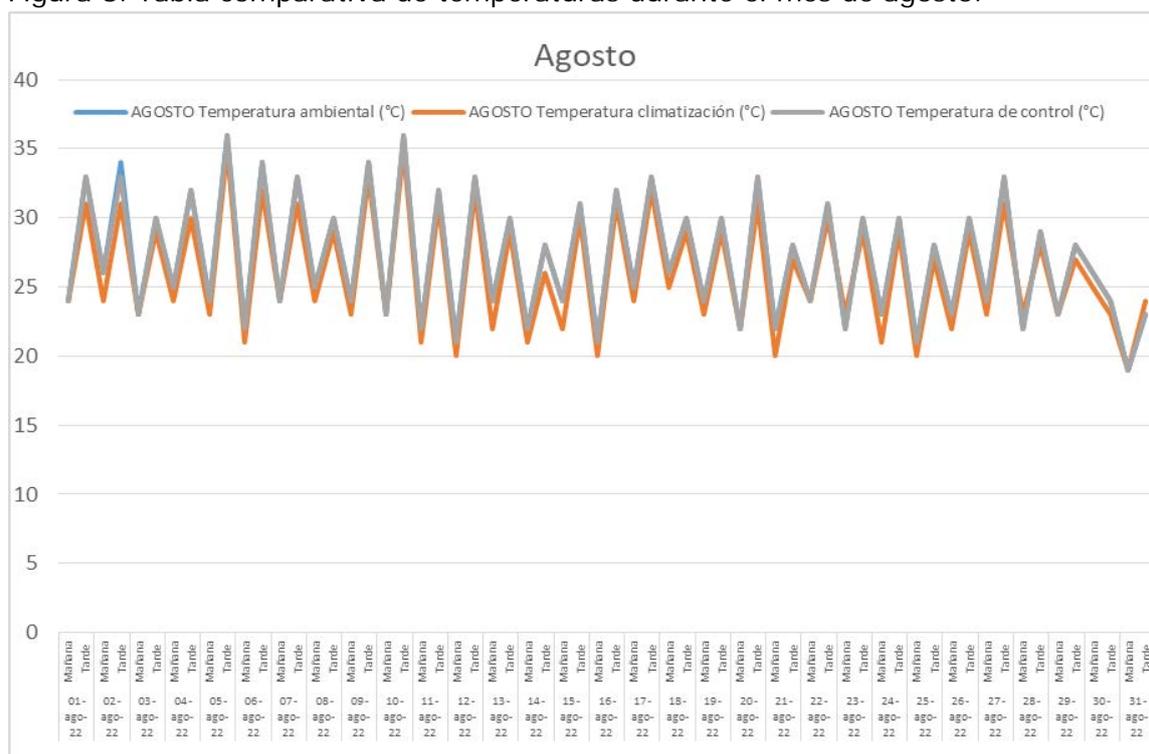
Tabla 1. Resultados de las mediciones realizadas durante el mes de agosto.

Fecha	Hora del día	Temperatura ambiental (°C)	Temperatura climatización (°C)	Temperatura de control (°C)
<b>01-ago-22</b>	Mañana	24	24	24
	Tarde	33	31	33
<b>02-ago-22</b>	Mañana	26	24	26
	Tarde	34	31	33
<b>03-ago-22</b>	Mañana	23	23	23
	Tarde	30	29	30
<b>04-ago-22</b>	Mañana	25	24	25
	Tarde	32	30	32
<b>05-ago-22</b>	Mañana	24	23	24
	Tarde	36	35	36
<b>06-ago-22</b>	Mañana	22	21	22
	Tarde	34	32	34
<b>07-ago-22</b>	Mañana	24	24	24
	Tarde	33	31	33

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta un extracto de las tablas de los resultados cuantitativos, obtenidos a partir de las mediciones realizadas entre los meses de agosto y octubre, en ambos horarios, tanto matutino como vespertino, de las 3 diferentes ubicaciones de la instalación; en ellas puede compararse, mediante la representación de estos datos en las gráficas, los resultados obtenidos, permitiendo apreciar la diferencia entre los tres puntos de medición durante el transcurso de la presente investigación y los resultados alcanzados; para ello, se hizo un análisis comparativo que nos permite promediar las mediciones recabadas establecer una comparativa individual y de medias que nos servirán para la presentación de los resultados alcanzados.

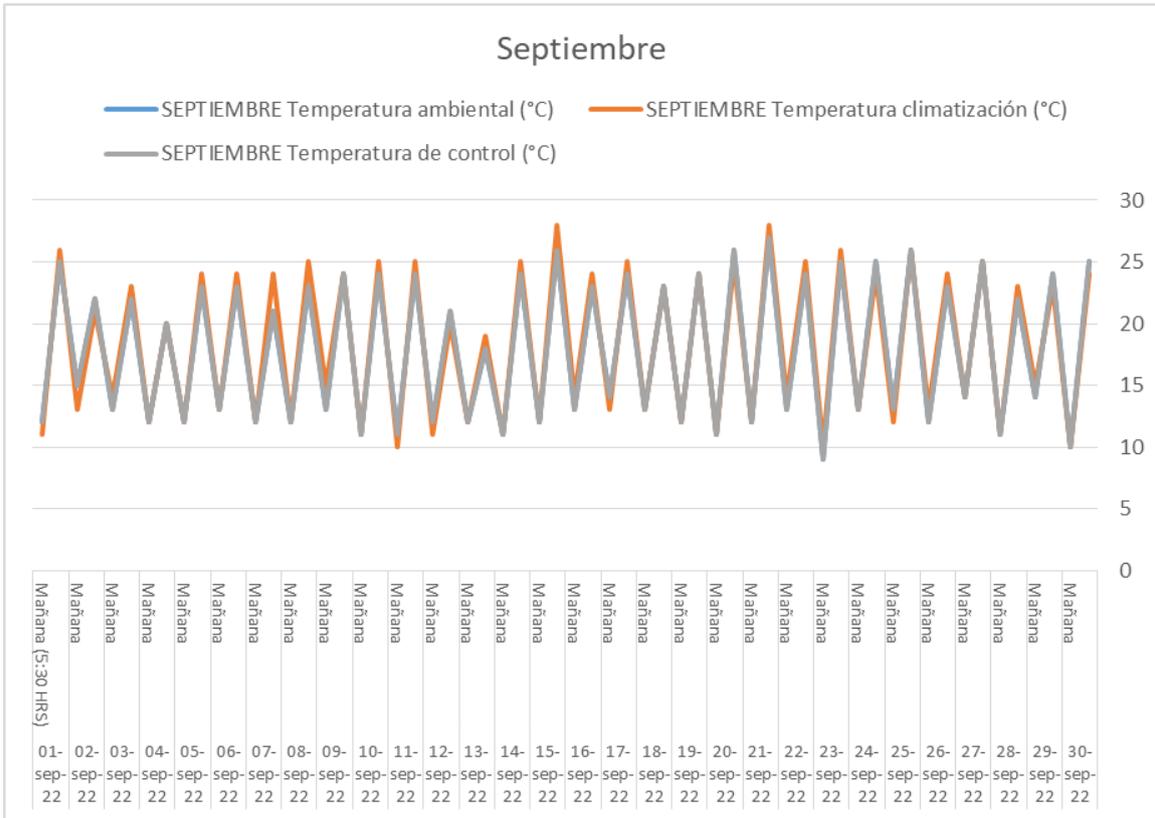
Figura 8. Tabla comparativa de temperaturas durante el mes de agosto.



Fuente: Elaboración propia.

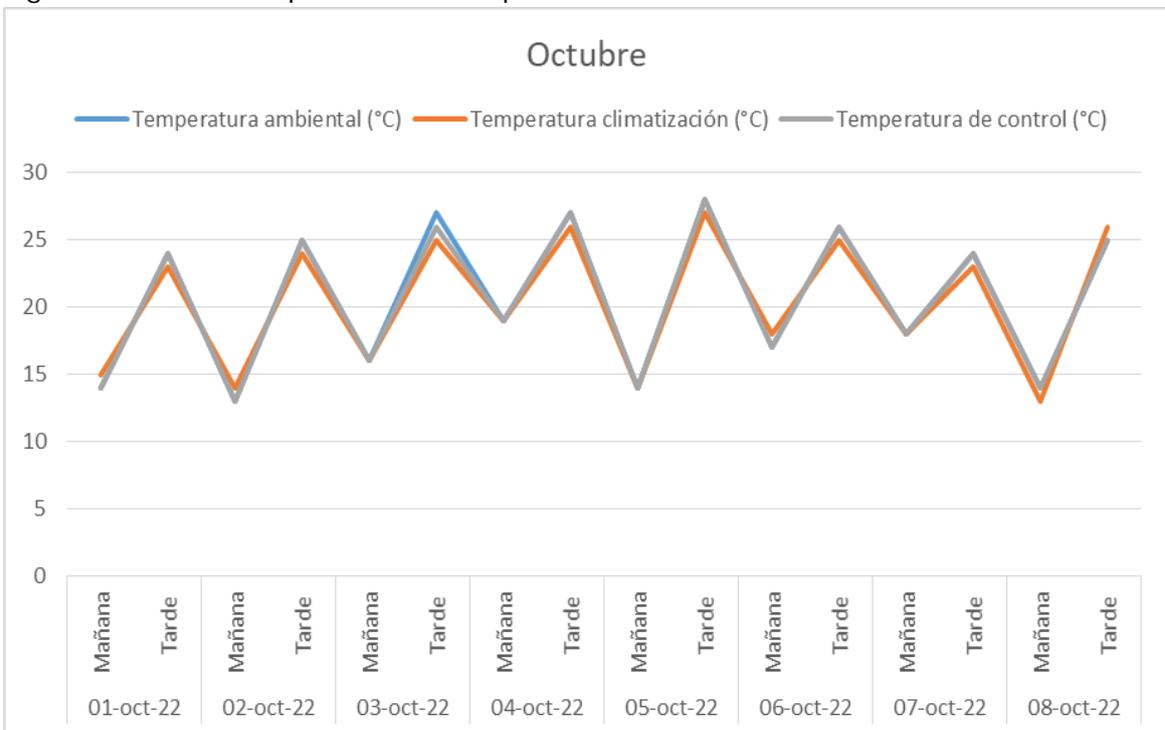
De acuerdo al planteamiento de la hipótesis inicial, en la cual se esperaba la disminución en 5°C (la proyección en simulación predecía 9°C) en las temperaturas máximas durante los meses de verano, los resultados obtenidos en la presente investigación, nos orillan a rechazar la hipótesis propuesta, al notar que no se alcanzó la temperatura descrita en la misma, debido a que no ocurrió la disminución de temperatura esperado al interior de la vivienda, alcanzando una diferencia promedio de únicamente 1 °C en comparación con las temperaturas recabadas en la habitación contigua (de control), misma que no estaba climatizada por el dispositivo de investigación durante el lapso de estudio, como se puede observar en la gráfica presentada.

Figura 9. Tabla comparativa de temperaturas durante el mes de septiembre.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Tabla comparativa de temperaturas durante el mes de octubre.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis estadístico nos permite notar que la temperatura al interior de la vivienda se estabilizó en el mes más caluroso, disminuyendo en promedio 1°C, indicándonos con esto que el sistema es eficaz en su objetivo de disminuir la temperatura cuando se encuentra en rangos altos; además de esto, en los meses más fríos, hubo poco cambio e incluso subió, en promedio, 0.28 grados permitiendo que la temperatura se temple y con ello, mejorando el confort al interior de la vivienda, demostrando una vez más que el sistema de climatización cumple con la función establecida.

Tabla 2. Resultados obtenidos en el análisis.

AGOSTO			
PROMEDIOS (°C)	27,06	26,06	27,05
DIFERENCIA (°C)	1,00		
SEPTIEMBRE			
PROMEDIOS (°C)	17,88333333	18,16666667	17,88333333
DIFERENCIA (°C)	-0,28333333		
OCTUBRE			
PROMEDIOS (°C)	20,6875	20,375	20,625
DIFERENCIA (°C)	0,3125		

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con estos resultados que demuestran que el sistema es eficaz para aumentar la temperatura en climas fríos y disminuirla en climas extremadamente cálidos, las recomendaciones pertinentes que se hacen para la siguiente investigación, es que el sistema esté más controlado mediante aislamiento térmico al interior de la habitación, esto deriva en que las condiciones para su uso sean más costosas, pero nos permitirá evitar interferencias que pongan en duda los resultados obtenidos por el sistema. La segunda recomendación es acerca de los ductos en el sentido de que se deberá cambiar el material por un material refractario que permita mayor eficiencia de intercambio térmico, aumentando así la eficiencia global del sistema. Por último, la siguiente recomendación, será que la longitud total de la tubería aumente y, por ende, el tiempo de retención del aire al interior del sistema de intercambio geotérmico, también aumentará permitiendo más tiempo para que el sistema pueda intercambiar más calor con su entorno, y con ello mejorar los resultados obtenidos.

## 9. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Comparando los resultados obtenidos con la proyección descrita por el software GAEA, se observó que la temperatura de climatización presenta menos variaciones en la habitación ventilada mediante el dispositivo instalado contrastando con el comportamiento al interior sin dicho dispositivo, lo que concuerda con la predicción de dicho software.

2. En el mes de agosto la instalación disminuyó el promedio de temperatura de 1° C con respecto a las tomas exteriores (figura 8).

3. En el mes de septiembre la instalación aumentó el promedio de temperatura en 0.28 °C con respecto a las tomas exteriores, lo que se traduce en un mejor confort a la temperatura climatizada (figura 9).

4. El mes de septiembre fue inusualmente más frío en comparación con años anteriores en los que se presentan temperaturas máximas de hasta 39°C (2020) y 38°C (2021) por lo que la climatización fue demostrada al aumentar el promedio en comparación con las temperaturas frías presentadas al exterior de la vivienda en dicho mes.

5. En la primera semana de octubre, la instalación disminuyó el promedio de temperatura en 0.31° C (figura 10).

6. De acuerdo con los resultados mostrados anteriormente, el objetivo de climatizar la vivienda fue alcanzado, sin embargo, el amortiguamiento no fue tan significativo como se esperaba debido a los siguientes factores:

- Condiciones de la vivienda, la cual no cuenta con materiales de construcción que permitieran el aislamiento térmico necesario, lo que ocasiona que fugas o ingreso de corrientes de aire, permitan variaciones en la temperatura no previstas.

- La profundidad de la instalación de las tuberías puede aumentarse permitiendo que la variación en la temperatura del suelo circundante genere una mejor transferencia de calor con el sistema y, por lo tanto, el flujo de aire cuente con una temperatura más estable (Imagen 5).

- La distancia total de circulación de aire dentro de las tuberías, puede aumentarse para que el tiempo de retención del aire al interior también aumente y permita una mejor transferencia térmica, mejorando la eficiencia global del sistema de climatización.

- El material utilizado de PVC es un plástico con poca capacidad de transferencia térmica, que como se mencionó anteriormente fue elegido por su durabilidad y resistencia a la corrosión; en este caso, podemos proponer otros materiales que permitan una mejor transferencia de calor con el sistema y su entorno, tales como materiales metálicos o cerámicos, que nos permitan aumentar la eficiencia en la transferencia térmica con el sacrificio de la durabilidad.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Cabezas, a. M. (2012). Eficiencia energética a través de utilización de pozos canadienses con el análisis de datos de un caso real "casa pomaret". Eficiencia energética a través de utilización de pozos canadienses con el análisis de datos de un caso real "casa pomaret".
- Cabezas, a. M. (2013). Eficiencia energética a través de la utilización de pozos canadienses con el análisis de datos de un caso real " casa pomaret". Barcelona.
- Catalán alonso, h. (2021). Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México. Problemas del desarrollo, 59-83.
- Energía geotérmica. (s.f.). Recuperado de: tw energy: <https://twenergy.com/energia/energia-geotermica/>
- Hernández bonilla, j. M. (2021, enero 13). El país. Recuperado de: El país: <https://elpais.com/ciencia/2021-01-13/la-pintura-de-un-jabali-de-hace-45500-anos-es-la-obra-de-arte-figurativo-mas-antigua-del-mundo.html>
- Hernández, g. (2021). Emisiones de gases de efecto invernadero y sectores clave en Colombia. El trimestre económico, 523-550.
- Inegi. (2018). Primera encuesta nacional sobre consumo de energéticos en viviendas particulares (encevi). México: comunicación social.
- Kennedy, c., & lindsey, r. (2018, abril 10). ¿Cuál es la diferencia entre el calentamiento global y el cambio climático? Recuperado de: climate government: <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/%c2%bfcu%c3%a1l-es-la-diferencia-entre-el-calentamiento-global-y-el-cambio-clim%c3%a1tico>.

- Llopis trillo, g., & rodrigo angulo, v. (2008). Guía de la energía geotérmica. Madrid: fenercom.
- Onu. (2022). Onu. Recuperado de: objetivos de desarrollo sostenible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Pérez, r., & osal, w. (2018). Gases de efecto invernadero por generación de electricidad en. Publicaciones en ciencia y tecnología, 30-40.
- Piedecausa garcía, b. (2009). La vivienda tradicional excavada: las casas-cueva de crevillente. Análisis tipológico y medidas de calidad del aire. Investigaciones geográficas, 169-189.
- Santos virgen, j. M., argeca ponce, a., & preciado álvarez, f. (2014). Competitividad ambiental: acciones de méxico en el protocolo de kioto. México.
- Smn. (2016). Recuperado de: servicio meteorológico nacional: <https://web.archive.org/web/20160303202331/http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales5110/normal05047.txt>
- Vielma sossa, m. S. (2013). Diseño e integración de energía geotérmica de baja entalpía aplicada a proyectos de construcción residencial. Santiago de chile.