

Estrategias pasivas por medio de pozos canadienses

Autores:

Urgilez-González, Martín Sebastián
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Maestrante – Maestría en Construcciones con mención en Administración de la
Construcción Sustentable
Azogues – Ecuador



martin.urgilez.12@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-0970-7999>

González-Redrován, Trajano Javier
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Docente – Investigador Posgrado
Cuenca – Ecuador



tjgonzalezr@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-9978-5367>

Romo-Zamudio, Carlos Eduardo
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Docente – Maestría en Construcciones con mención en Administración de la Construcción
Sustentable
Cuenca – Ecuador



carlos.romo@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0003-2417-3988>

Citación/como citar este artículo: Urgilez-González, Martín Sebastián, González-Redrován Trajano
Javier y Romo-Zamudio, Carlos Eduardo (2023). Estrategias pasivas por medio de pozos
canadienses. MQRInvestigar, 7(3), 1676-1701.

<https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.3.2023.1676-1701>

Fechas de recepción: 01-JUN-2023 aceptación: 24-JUL-2023 publicación: 15-SEP-2023



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

El presente artículo tiene como objetivo la definición de una estrategia bioclimática pasiva que permita mejorar el confort térmico al interior de los espacios de una vivienda. Empleando el aprovechamiento de energía geotérmica por medio de un intercambiador de calor tierra-aire existente como es el “pozo canadiense”. Esta investigación según su finalidad es de carácter básica de nivel descriptivo porque a través de la revisión y análisis bibliográfico, sobre esta estrategia pasiva de climatización se fortalecerá los fundamentos teóricos del estado actual del conocimiento sobre el tema principal; también abarca una investigación de naturaleza experimental porque a través de un prototipo de pozo canadiense como un caso de aplicación de aprovechamiento de energía geotérmica se evidencia el funcionamiento a nivel local del tema de estudio. Los resultados fueron claros, el uso de tubos enterrados permite conservar la temperatura interna de una vivienda relativamente constante, según lo observado con el prototipo experimental. La efectividad del funcionamiento del pozo canadiense como una estrategia pasiva de climatización de ambientes a nivel local, asegura el confort térmico gracias al intercambio de calor tierra-aire producido por la energía geotérmica.

Palabras claves: geotermia; energía geotérmica; climatización; pozo canadiense; arquitectura bioclimática

Abstract

The objective of this article is the definition of a passive bioclimatic strategy to improve the thermal comfort inside the spaces of a house. Using the use of geothermal energy by means of an existing earth-air heat exchanger such as the "Canadian well". This research, according to its purpose, is of a basic descriptive nature because through the review and analysis of the literature on this passive air conditioning strategy, the theoretical foundations of the current state of knowledge on the main topic will be strengthened; it also includes a research of experimental nature because through a prototype of a Canadian well as a case of application of geothermal energy harnessing, the local operation of the subject of study is evidenced. The results were clear, the use of buried pipes allows the internal temperature of a house to be kept relatively constant, as observed with the experimental prototype. The effectiveness of the operation of the Canadian well as a passive strategy of air conditioning of environments at the local level, ensures thermal comfort thanks to the earth-air heat exchange produced by geothermal energy.

Keywords: geothermal energy; geothermal energy; air conditioning; canadian well; bioclimatic architecture

Introducción

El crecimiento poblacional causa un consumo mayor de energía en las últimas décadas. El agotamiento de los recursos naturales se produce a consecuencia de esto, provocando al medio ambiente un impacto considerable. Para reducir este efecto, se debe plantear nuevas tecnologías y fuentes energéticas que sean de origen renovables para realizar un uso eficiente de la energía. (Pérez et al., 2018)

El cambio climático, el calentamiento global, y la pérdida acelerada de los recursos naturales, vienen derivadas directamente de la dependencia de las comunidades humanas, han dado sitio a que un conjunto de individuos comiencen a laborar con la ideología de sostenibilidad tomando en cuenta la comprensión de las interacciones que actualmente se ha configurado como un desafío a gran escala. (Cabezas, 2013) Esto quiere decir que los recursos tienen que ser utilizados para saciar las necesidades poblacionales; sin embargo, manteniendo una calidad de vida. El área psicológica debe ayudar a la sociedad a entender y a adaptarse al incremento de las amenazas del cambio climático, es así que muchas investigaciones psicológicas han estudiado las percepciones de las personas y sus creencias sobre estos efectos, descubriendo algunos de los importantes factores que inhiben o promueven la consciencia, es por ello que la psicología juega un papel muy importante para fortalecer estas ideologías. (Clayton, 2019)

Los problemas de cambios en el ambiente ya están repercutiendo en la salud. En algunas regiones, se ha incrementado el número de muertes producidas por las altas temperaturas. (Crónica, 2021) La construcción es una de las industrias más importantes y así mismo una de las más contaminantes. Un 40% de la contaminación, es generada por actividades ligadas directa o indirectamente a la construcción de obras civiles. (García-Ochoa et al., 2020)

La necesidad de energía ha sido clave para cubrir las mayores demandas entre diferentes países, por ello es importante la inserción de energías renovables, en sus diferentes formas de generación, sean solar, eólica, biomasa, mareomotriz, entre otras. Sin embargo, el desarrollo de ciertos sectores en las regiones, como los rurales, deben tener fuentes confiables para mantener el crecimiento económico.

La energía geotérmica pertenece a una fuente de energía renovable que aprovecha el calor que tiene el subsuelo del planeta. En nuestra vida cotidiana se aplica comúnmente en la climatización de ambientes y obtener agua caliente.

Diferentes estudios de la variación mínima de la temperatura del suelo a una profundidad mayor a 2 m es la razón principal para implementar estrategias que acondiciona el aire a diferentes temperaturas según las estaciones del año, es decir cuando el aire es relativamente seco se puede calentar en invierno y enfriar en verano.



Los intercambiadores de calor suelo-aire, como lo son los tubos enterrados, son óptimos porque permiten utilizar las inercias térmicas diarias y estacionales existentes en el subsuelo. Es decir, se aprovecha la característica del suelo de mantener la temperatura interior frente a los cambios exteriores, por la cual se consigue una temperatura constante de 15° C en cualquier parte del mundo, de día o de noche, en invierno o en verano. (Cabezas, 2013)

Los diseños relacionados con los sistemas pasivos son estrategias de la arquitectura bioclimática, que utiliza algunos dispositivos para captación de aire que conjuntamente con la energía térmica del suelo pretenden lograr llegar a un estado de confort térmico aceptable. (Herrera Gil, 2017)

Debido a lo expuesto anteriormente, el incremento de la población en las últimas décadas genera un mayor consumo de energía y esto trae como consecuencia el agotamiento de recursos naturales, el calentamiento global, el cambio climático, la pérdida de los recursos naturales, entre otras afectaciones a la naturaleza y el ambiente, y; al estar en auge la demanda de estrategias para enfrentar el reto de los problemas energético-ambientales a nivel mundial, involucra investigar y desarrollar conocimientos sobre el uso de los recursos naturales renovables como potencial fuente de energía. El trabajo de investigación se realizó con el fin de conocer el estado el arte o estado actual de los pozos canadienses como estrategia pasiva y uso de energía renovable en los sistemas de climatización y evidenciar su funcionamiento a través de un prototipo experimental para de esta manera contar con conclusiones y recomendaciones de la eficiencia del uso de la energía geotérmica a través de este sistema apuntando a una estrategia pasiva de climatización amigable con el medio ambiente.

El objetivo general de esta investigación es el de evaluar la eficiencia del uso de la energía geotérmica a través de pozos canadienses mediante la revisión del estado del arte y experimentando el funcionamiento a través de un prototipo para evitar las consecuencias de las afecciones ambientales por el consumo de energía no renovable.

Esto se logra a través del fortalecimiento de los fundamentos teóricos mediante la revisión de literatura científica sobre las estrategias pasivas por medio de pozos canadienses y el uso de energía geotérmica en repositorios, revistas, bibliotecas y bases digitales existentes para tener información actualizada sobre los fundamentos teóricos del estado actual del conocimiento sobre el tema; y, del análisis de la eficiencia del uso de pozos canadienses mediante una maqueta experimental y el control de temperatura para determinar que su uso corresponde a una estrategia pasiva de climatización efectiva y amigable con el medio ambiente.

1.1. Marco Teórico

1.1.1. Conceptos bioclimáticos básicos



Recursos naturales. - Son los bienes o servicios que proporciona la naturaleza sin la intervención del hombre.

Recursos renovables. - Son todos aquellos recursos que consiguen recuperarse por sí solos a través de un ciclo biológico a lo largo de su vida útil.

Recursos no renovables. - Son aquellos recursos cuya relación de extracción o de su consumo es mayor que la de su renovación, esto hace que se vayan agotando con el tiempo. (Westreicher, 2020)

Energía renovable. - Es toda aquella energía que se consigue de fuentes naturales como el sol, el agua, el viento y la denominada biomasa animal o vegetal.

Energía Geotérmica. - Es la energía en forma de calor que se encuentra situada en el interior de la tierra, entre sus usos esta la producción de calor y energía eléctrica. (Quiroa, 2019)

Confort térmico. - De acuerdo a la norma NTE INEN-ISO 7730, define al confort térmico como “el bienestar térmico en aquella condición en la que existe satisfacción respecto del ambiente térmico”. (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 7730, 2014)

Pozos canadienses. - Son sistemas para climatización que permite el aprovechamiento de la energía geotérmica, se utiliza con frecuencia en proyectos de arquitectura bioclimática. “Este sistema, considerado como geotermia de baja temperatura, apenas consume energía por lo que se considera una tecnología ecológica, eficiente y sostenible”. (Herrera Gil, 2017)

Estrategia pasiva de diseño. - Son acciones que se aplican en el diseño arquitectónico con el fin de aprovechar al máximo lo que nos ofrece el entorno, para lograr un confort deseado con la disminución de la dependencia a las instalaciones comunes. (Huellas de la arquitectura, 2018)

1.1.2. La geotermia:

La fuente de la energía geotérmica es la corriente de calor que se genera hacia la superficie de la tierra. Corriente que resulta de las altas temperaturas (superiores a los mil grados centígrados) denominado gradiente térmico.

En función a la temperatura, la geotermia se clasifica en:

Temperatura alta (mayor a los 150°C). – se encuentra en los yacimientos de aguas, los que se encuentran confinados a elevadas temperaturas en terrenos con actividad magmática reciente o residual actuando como un foco de calor. Están localizados desde los 1500 metros hasta los 3000 metros de profundidad.

Temperatura media (mayor a los 90°C y menor a los 150°C). - corresponde a los yacimientos que se sitúan en zonas deprimidas de la corteza terrestre. Están localizados desde los 1000 metros hasta los 3000 metros de profundidad. De darse fracturas en el terreno puede ocasionar que el agua ascienda hasta la superficie originando los manantiales termales.

Temperatura baja (mayor a los 25°C y menor a los 90 °C).

Temperatura muy baja o baja entalpía (menor a los 25°C).

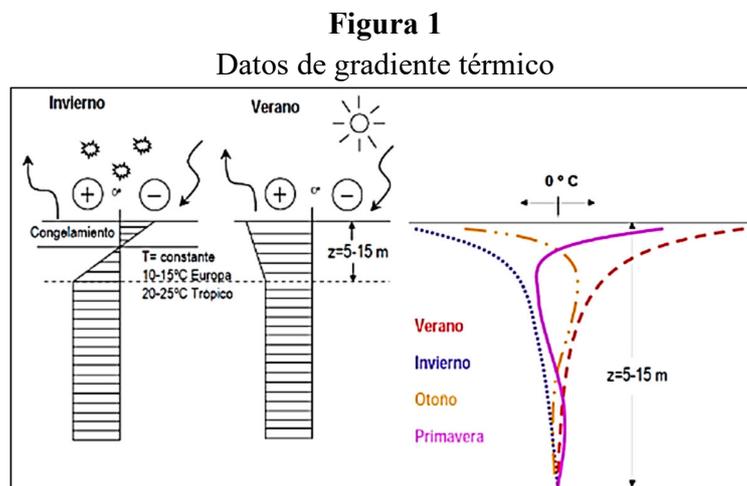
La baja temperatura y la muy baja temperatura son yacimientos casi a nivel de la superficie.

Por lo anterior se puede concluir que la “geotermia incluye desde aprovechamientos geotermales con agua hasta otros de baja entalpía que utilizan la diferencia de temperatura entre la superficie y el subsuelo”. (Pérez et al., 2018)

Se puede aprovechar el calor almacenado en las diferentes capas superficiales del subsuelo en cualquier punto de la supervisa del planeta, aprovechamiento que ayudaría a la climatización de viviendas, edificios y espacios con la ayuda de bombas de calor geotérmicas.

La energía geotérmica de baja entalpía fundamenta su aplicación en la capacidad física que tiene el subsuelo de acumular el calor y mantener una temperatura constante a lo largo del año (esta temperatura rondará los 15°C con variaciones en función de la zona). (Peiretti, 2017)

El clima exterior afecta directamente a la temperatura a profundidades menores, esto se puede apreciar en el siguiente gráfico:



Fuente: Primer Congreso GeoEner (Ingesolum, 2008)

Ventajas de la geotermia:

Beneficios Medioambientales: Usar la energía geotérmica como elemento de climatización no genera la liberación de dióxido de carbono y metano, ni genera un consumo de oxígeno que están relacionados con el consumo de combustibles fósiles y gas natural que producen un gran aumento en las emisiones de gases que intensifican el efecto invernadero.

Independencia energética: es decir permite disponer de los beneficios de esta energía en cualquier momento, sin importar eventuales crisis de petróleo o crisis energéticas e incluso la falta de energía eléctrica.

No inflamable: Al funcionar el sistema sin combustión.

Disponibilidad: No se encuentra en localizaciones específicas como los combustibles fósiles, más bien se cuenta con una amplia distribución, el que puede ser aprovechado en el propio terreno.

Requerimiento: No requiere de características excepcionales de terreno para su uso, es independiente de las condiciones meteorológicas y ambientales por lo que es un recurso continuo y estable. (Peiretti, 2017)

1.1.3. Pozos Canadienses:

Es simplemente un intercambiador de calor tierra - aire, que usa el subsuelo para el calentamiento y enfriamiento de corrientes de aire que circulan a través de un sistema de tubos enterrados contribuyendo a incrementar la temperatura del aire que ingresa en los inmuebles en invierno, y reduciéndola en verano. El sistema debería ser desactivado a lo largo de las temporadas medias, para no enfriar la vivienda de forma indeseada. (Gómez, 2019)

Tomando en cuenta la base de la utilización de los tubos 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. (Aguirre & Ordoñez, 2019)

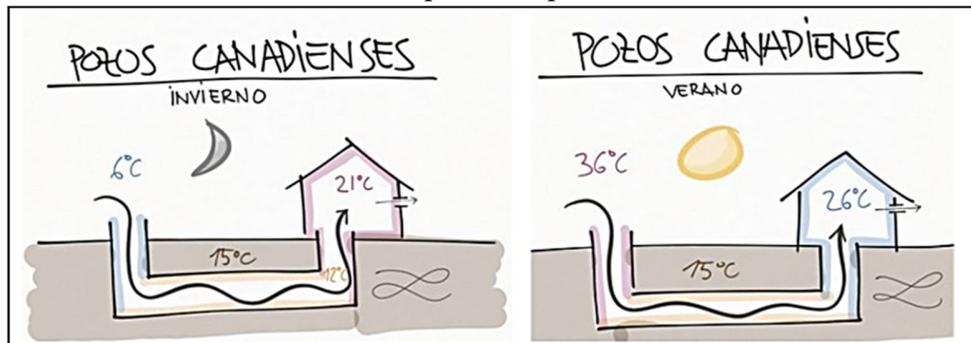
Se debe destacar que el sistema de tubos enterrados es enteramente sustentable, ecológico y duradero. Para evadir la proliferación de bacterias patógenas Debería preverse un sistema de evacuación del agua de condensación. (Yousfi et al., 2020)

El pozo canadiense se basa en la utilización de la energía térmica del subsuelo para tratar el aire de ventilación de las construcciones antes de que éste ingrese a la construcción, es decir, lo pre - trata. Este aire que ingresa a la construcción muestra un grado de confort térmico mayor porque se obtiene un aire más fresco o cálido en tiempos fríos y cálidos. El criterio para la utilización de este sistema se basó en extensas pruebas de mediciones en campo, a diferentes profundidades con relación al suelo y en varias ubicaciones. Los estudios más

relevantes demuestran que el suelo a profundidades mayores a los 2 metros, mantiene constante su temperatura, alrededor de 15° C durante todo el año, según se muestra en el gráfico 2. Al suponer que la temperatura del suelo es una pura función armónica, el suelo muestra perfiles de temperatura que pueden ser representados en función del tiempo de forma matemática. (Aguirre & Ordoñez, 2019)

Figura 2

Ilustración temperaturas pozo canadiense



Fuente: Pozos canadienses (Sánchez, 2016)

El aire ingresa dentro del tubo por una toma debidamente protegida, este aire circula por la tubería enterrada dirigida por impulsión; y se distribuye a los diferentes espacios del inmueble a climatizar, asegurando así un aporte de aire nuevo continuo. (Brunat & Escuer, 2018)

Es importante asegurar que en el interior de la tubería se den condiciones de flujo turbulento y/o flujo laminar, dependiendo la situación, y que el lapso de permanencia del flujo asegure el cambio recíproco de calor entre el aire aspirado y el subsuelo. Además, es de suma trascendencia la rapidez del flujo de aire en el interior del tubo, diversos profesionales comentan que debería posicionarse entre el rango de 1 a 4 m/s. (Aguirre & Ordoñez, 2019)

Además de estos factores, la profundidad del pozo también es importante a tener en cuenta. Esto se debe a que los pozos más profundos permiten acceder a una mayor cantidad de energía geotérmica, ya que la temperatura sube con la profundidad. Por lo tanto, el tamaño y la profundidad del pozo deben ser proporcionales para garantizar un suministro adecuado de energía.

Con el sistema de pozos canadienses, la energía geotérmica es aprovechada para mantener constante tanto en invierno como en verano, la temperatura a unos 20°C en los espacios donde son utilizados. Sus costos de diseño, fabricación e instalación no corresponden a costos elevados y apenas necesitan mantenimiento. Si a esto se añade el criterio de que es un sistema ecológico y no produce residuos contaminantes, se puede usar para diferentes tipos de edificaciones. Por tanto, el sistema de tubos enterrados busca aprovechar la temperatura

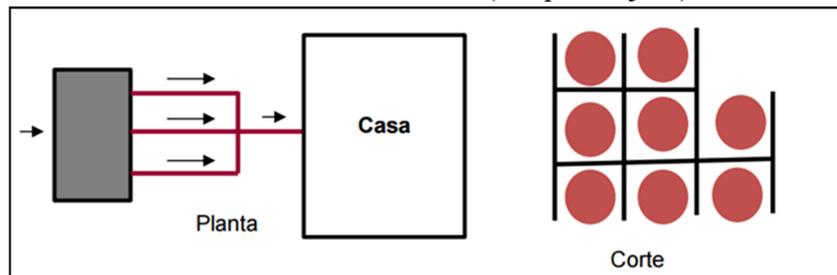
constante que asegura la energía geotérmica del subsuelo para calentar o enfriar el aire que proviene del exterior y difundirlo así en la vivienda. (Herrera Gil, 2017)

Los pozos canadienses son de tres tipos diferentes en su configuración como sistema: tipo bloque Techelmann (bloque – rejilla), distribución Techelmann (rejilla) y directos aislados (anillo): Estos 3 tipos de distribución se diferencian entre sí por el número y distribución de los de los tubos horizontales que son enterrados.

Distribución Techelmann (bloque - rejilla): Al ser implementados en espacios limitados se construyen como bloques con varias capas de tubos. Al diseñar este tipo de sistemas es de suma importancia analizar la inercia térmica de todo el bloque porque un mal diseño no permitirá un adecuado intercambio de calor del flujo. El esquema se muestra en la gráfica 3.

Figura 3

Distribución Techelmann (bloque - rejilla).

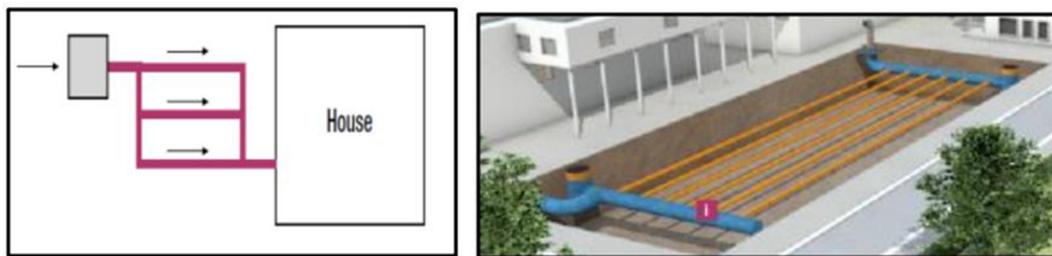


Fuente: Geotermia de baja entalpia en suelos loessicos. (Peiretti, 2017)

Distribución Techelmann (rejilla): Se utiliza cuando se requiere un mayor flujo de volumen de aire en el sistema y por ende la longitud total de los tubos es muy grande. El esquema se muestra en la gráfica 4.

Figura 4

Distribución Techelmann (rejilla).



Fuente: Geotermia de baja entalpia en suelos loessicos. (Peiretti, 2017)

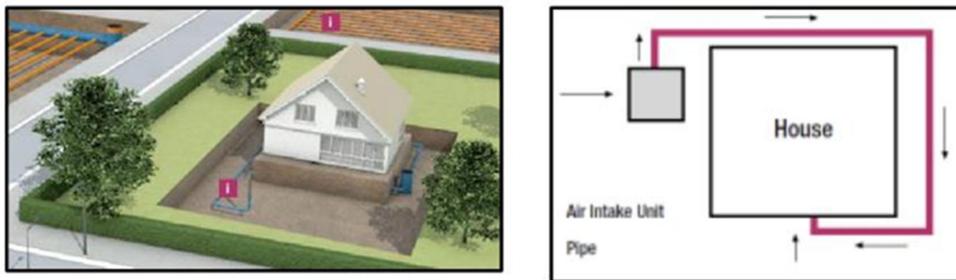
Este tipo de sistemas son colocados en edificaciones de gran escala, por esta razón es muy importante considerar un sistema de evacuación de agua (por infiltración del terreno o condensaciones de la tubería) en la tubería de ingreso y salida del aire.

Directos Aislados (anillo): Para viviendas familiares y/o construcciones pequeñas comúnmente pero también ha sido utilizado en escuelas, auditorios, naves industriales, etc. Este sistema resulta rentable porque se diseña con la posibilidad de poder utilizar excavaciones existentes.

Su instalación está formada por uno o dos tuberías direccionadas hacia una cámara central, en donde se encuentra el ventilador que impulsa todo el sistema, y esta a su vez se conecta directamente a la torre de salida del aire. Se puede utilizar tubería de PVC con chapa de acero. (Peiretti, 2017) El esquema se muestra en la gráfica 5.

Figura 5

Distribución directo aislados (anillo).



Fuente: Geotermia de baja entalpia en suelos loessicos. (Peiretti, 2017)

El sistema de tubos enterrados debe trabajar en conjunto con una climatizadora y/o una unidad de tratamiento de aire; la cual permite regular el caudal y velocidad de aire necesario, y también ayuda a cubrir las demandas pico de la construcción que no pueden ser satisfechas solo con los tubos enterrados.

El sistema constructivo utilizado para el material de la tubería vertical (para el ingreso y salida del aire) y el material que conforman la rejilla varía dependiendo de los requerimientos de cada proyecto, pero comúnmente pueden ser de PVC y/o de hormigón.

Índices de confort:

Los recursos de instalación del sistema en el sitio se distinguen el uno del otro en todos los casos de análisis, así como de las diversas configuraciones en su diseño dependiendo del tipo y uso de la construcción a condicionar y/o climatizar. (Santilli, 2014)

Es fundamental, de ser posible, que contengan una capa interior antimicrobiana, generalmente compuesta por partículas de plata, y cuya consecuencia es asegurar un aire fresco y limpio es decir un aire higiénico.

Sistema mecánico de impulsión de aire por medio de ventilador: Sirve para lograr el ingreso del caudal de aire primordial, en algunas ocasiones integrado en la máquina de climatización usada. (Martín, 2018)

Aprovechamiento de la inercia térmica:

Se debería asegurar un flujo de aire homogéneo para garantizar que el trueque de calor entre aire y el material sea óptimo. El fundamento del sistema corresponde a un fenómeno físico complejo y sorprendente por el cual el aire sale con una temperatura equivalente a la que entró unas horas anteriormente con mobiliario que tienen la posibilidad de conseguir las 12 horas. (Brunat & Escuer, 2018)

1.1.4. Dimensionamiento del pozo canadiense:

La predominación de las magnitudes en el conducto o tubería, la velocidad de ingreso de aire, salida de aire y la temperatura han sido estudiadas detalladamente por diversos autores (Gómez, 2019) - (Cano Molina, 2013) entre las consideraciones importantes están las siguientes:

- La alteración de la temperatura que proporciona el suelo en la mañana es de tipo sinusoidal, donde su rango de amplitud decrece inmediatamente en hondura y el instante de la máxima y la mínima se mueve de acuerdo a la época ocasionando un retardo en el tamaño que la onda térmica penetra el suelo.
- Las propiedades del suelo resultan muy relevantes: las características térmicas del mismo, influyen poderosamente la conducta térmica del sistema.
- La transferencia de calor depende directamente de la longitud del conducto, a mayor longitud, mayor transferencia de esta forma el sistema puede aumentar su rendimiento. La longitud no debería aumentar incesantemente para buscar aumentar el rendimiento del sistema debido al comportamiento asintótico que presenta la temperatura de salida con respecto a la longitud del conducto.
- Las longitudes habituales de los conductos o tuberías enterradas están comprendidas desde los 10 metros hasta los 100 metros.
- Los óptimos valores para la rapidez del flujo del aire se piensan cerca de los 4 m/s (metros sobre segundo), para tuberías de 20 centímetros de diámetro, esto con relación directa entre la potencia para hacer circular el aire y el acondicionamiento resultante. Los diámetros pequeños se utilizan a partir de un criterio térmico para una misma rapidez de flujo, estos muestran más grandes pérdidas por fricción, es así que lo más correcto es el cálculo del balance entre la transferencia de calor y la potencia de circulación del aire en los conductos.

Luego de conocer las diferentes consideraciones se entenderá como diseño óptimo al sistema más adecuado relacionándolo con la eficiencia energética, ahorro de costos, requerimientos

de la edificación, adaptabilidad del entorno y los efectos que se puedan generar en el medio ambiente con el sistema elegido.

En el desarrollo del proyecto es importante un estudio tanto del macro entorno como del micro entorno, explicando una estrategia de operaciones que defina los procesos y recursos necesarios para el desarrollo de la actividad, una estrategia de marketing que ayude a conceptualizar un perfil de comprador objetivo y la demanda. (Aguirre & Ordoñez, 2019)

Al final, va a ser primordial hacer una estrategia económico y financiero en el que se considere todos los costos que implica el proceso del comercio, así como una inversión estratégica, y poder hacer un análisis de la productividad del plan.

Se detallan las siguientes variables que se toman en cuenta para dimensionar un sistema de pozo canadiense:

- Temperatura de ingreso aire.
- Temperatura para el acondicionamiento del ambiente interno.
- Tipo del suelo.
- Profundidad de las napas.
- Humedad del suelo.

Tabla 1.

Tipos de suelo (Permeabilidad, conductividad y capacidad térmica)

Tipo de suelo	Permeabilidad (m/s)	Conductividad térmica (W/mK)		Capacidad térmica volumétrica (MJ/m ³ K)	
		seco	saturado	seco	saturado
Arcilla	10 ⁻⁸ - 10 ⁻¹⁰	0,2 - 0,3	1,1 - 1,6	0,3 - 0,6	2,1 - 3,2
Limo	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁸	0,2 - 0,3	1,2 - 2,5	0,6 - 1,0	2,1 - 2,4
Arena	10 ⁻³ - 10 ⁻⁴	0,3 - 0,4	1,7 - 3,2	1,0 - 1,3	2,2 - 2,4
Grava	10 ⁻¹ - 10 ⁻³	0,3 - 0,4	1,8 - 3,3	1,2 - 1,6	2,2 - 2,4

Fuente: Guía de la geotermia (Llopis, 2008)

1.1.5. Parámetros de diseño para pozo canadiense:

Los parámetros de diseño se logran calentando o enfriando el aire de ventilación en la tubería enterrada desde la temperatura del aire exterior hasta la temperatura del suelo en el interior de la tubería. Por lo tanto, es preciso conocer:

m.air: Caudal másico de aire

T.air,: Temperatura del aire de ingreso

T.air,: Temperatura del aire de salida después del intercambio de calor.

T.ground: Temperatura del suelo.



El flujo másico de aire y la temperatura del aire de salida se fijan por el requerimiento de diseño. La temperatura del aire de entrada y la temperatura del suelo siguen las condiciones climáticas de diseño del problema:

- La temperatura del suelo se define netamente por el clima y por la composición de dicho suelo.
- La fluctuación de temperatura del suelo disminuye con el aumento de la profundidad de los tubos.
- Los parámetros de dimensionamiento geométrico de un intercambiador de calor tierra-aire son:
D: diámetro de la tubería.
L: longitud de la tubería.

Los materiales usados para el diseño de un intercambiador térmico tierra aire deben ser seleccionados con cuidado, ya que estos influyen en la eficiencia energética del sistema. Un material con excelentes propiedades térmicas, como alta conductividad térmica, baja resistencia térmica y alta resistencia mecánica, resultará en un mejor rendimiento del sistema. Además, los materiales deben ser resistentes a la corrosión para prevenir daños en el equipo. Por lo tanto, se debe considerar cuidadosamente todos los aspectos relacionados con las características térmicas de los materiales antes de utilizar el intercambio de calor.

Para la tubería comúnmente se utiliza diferentes tipos de plásticos, hormigón pretensado, tubos galvanizados, tubos de cerámica, etc. Los tubos corrugados muestran una más grande resistencia estructural sin embargo además más grande problema al flujo y más grande probabilidad de encharcamiento del agua de condensación.

1.1.6. Manejo y mantenimiento de pozo canadiense:

Como se ha expuesto previamente, hay diferentes sistemas que permiten el aprovechamiento calorífero que tiene el subsuelo, mismo que se explicó como geotermia. Una técnica eficaz es el pozo canadiense o pozo provenzal, considerado como un sistema de instalación geotérmica de baja entalpía que posibilita climatizar un lugar con el aprovechamiento de temperaturas estables proveniente de la capa superficial del subsuelo. Sistema que se basa en enterrar tubos a una hondura que varíe desde los 1,50 y 5 metros para luego hacer circular por el interior aire que consigue la temperatura del subsuelo y hace circular al interior de la casa para dotar de aire fresco en verano y calefacción en invierno.

Va a ser de fundamental trascendencia hacer un análisis anterior del lugar, debido a que no hay un sistema con una configuración general de uso común, si no que cada instalación deberá ser adaptada a las necesidades requeridas y al lote en el que se desea llevar a cabo.

Para evitar problemas de condensación y malos olores, los pozos deben estar equipados con un sistema de ventilación para controlar la humedad y la temperatura. El aire exterior debe ser filtrado para evitar que entren partículas nocivas al interior. Además, los filtros deben cambiarse periódicamente para mantener su eficacia. Es muy importante que el sistema sea accesible para permitir su lavado periódico. (Peiretti, 2017)

1.1.7. Ventajas y desventajas del sistema:

Por otro lado, los requerimientos energéticos son enteramente marginales, implicando la implementación del sistema y el mantenimiento.

Predomina que el sistema es en especial duradero, y enteramente sustentable y ecológico como todo sistema, además muestra ciertas desventajas que se resumen en seguida: Las funcionalidades de precalentamiento en invierno y refrigeración en verano permanecen dañadas por 2 desfases, uno diario y otros estacionales dados por la inercia térmica del subsuelo. El rendimiento del sistema no es constante, siendo esta funcionalidad de la temperatura de entrada (la temperatura de salida por los difusores se preserva básicamente constante, a medida que la temperatura exterior fluctúa constante cerca de los 15° C a 2 m de profundidad. (Aguirre & Ordoñez, 2019)

En una instalación tipo, el aire ingresa por una toma exterior adecuadamente protegida, el que circula por las tuberías enterradas con la ayuda de un sistema de impulsión y se reparte a los diferentes espacios de la infraestructura a climatizar asegurando así un aporte significativo de aire nuevo, fresco o cálido y que establezca el confort térmico deseado. Para una correcta implementación en una infraestructura moderna, se debe contemplar las soluciones a los posibles problemas de condensación en las canalizaciones, estableciendo así un sistema mejorado. (Romero, 2020)

De esta forma, el flujo de aire generado por el sistema de ventilación mejora la distribución del aire en el inmueble, permitiendo una climatización óptima y uniforme en todas las estancias. Además, el sistema contribuye a reducir los problemas de humedad y condensaciones en los espacios, manteniendo un nivel higiénico óptimo para los ocupantes. El soplado es especialmente eficaz en inmuebles con muros exteriores no aislados, ya que evita que el calor se escape hacia el exterior.

Hay ciertos condicionamientos en el desempeño de un intercambiador tierra aire tienen la posibilidad de ser resumidos en los siguientes puntos:

- Desfases uno diario y otro estacionales dados por la inercia térmica del subsuelo.
- El almacenamiento de calor gracias a las oscilaciones estacionales.
- El sistema llega a servir como un bucle de recarga térmica y de repartición. (Aguirre & Ordoñez, 2019)

Material y métodos

Con la finalidad de lograr una mejor comprensión del problema de investigación, el presente estudio tiene un enfoque investigativo de carácter mixto ya que integra los métodos cualitativos en la investigación documental y los métodos cuantitativos de la investigación de campo.

Para fortalecer los fundamentos teóricos del estado actual del conocimiento de las estrategias pasivas por medio de pozos canadienses se realiza una investigación, haciendo una recopilación de información sobre las estrategias pasivas por medio de pozos canadienses (investigación documental), y; una investigación de naturaleza experimental a través de la observación de un prototipo de pozo canadiense, como un caso de aplicación de aprovechamiento de energía geotérmica, se puede evidenciar su funcionamiento a nivel local a través de una investigación según su profundidad descriptiva, usando una maqueta experimental (investigación de campo).

En esta etapa de investigación documental, se realizó la búsqueda de información basada en una revisión sistemática de literatura mediante palabras claves relacionadas con geotermia, pozo canadiense y sus índices de confort, dimensionamiento, diseño, manejo y mantenimiento de pozo canadiense en una población como fuentes secundarias como son los artículos de investigación, libros, tesis, tesinas y páginas web en repositorios documentales, bibliotecas, revista y bases digitales.

Para la experimentación se construyó un prototipo experimental a escala reducida de vivienda con una estrategia pasiva por medio de pozo canadiense donde se aprovecha los flujos naturales de la geotermia utilizando el recurso energético del sitio de implantación.

La aplicación de los criterios de pozo canadiense se realizaron a través de una maqueta de una vivienda a escala reducida con ducto para enterrar en el suelo, para la cual se utilizó materiales básicos de marquería como: madera para la base (50x50 cm), laminas MDF para paredes y pisos, cartón para techos y divisiones, plástico para ventanas, adhesivos para textura paredes, piso y techo, pegamento, tubo de acero de 1/4 pulgadas, tubo tipo manguera de caucho de 3/8 pulgadas, arena para texturizar los espacios exteriores, dos termómetros higrómetros de uso al aire libre con pantalla digital, equipo menor para medición (regla y escalímetro), corte (estilete) y perforación (taladros y brocas).

Para el proceso de armado de la maqueta, se procedió inicialmente al armado de la base de madera donde se implantó la vivienda distribuida en espacios interiores de una sola planta con el techo desmontable, esto ayudó a la toma de datos. Seguidamente se realizó las perforaciones en el piso interior de la vivienda y en el suelo exterior del predio, donde se colocó la tubería de acero y conectado entre sí con el tubo tipo manguera de caucho debajo

de la base de la maqueta. El tipo de pozo canadiense utilizado en este experimento es el directo aislado, según se detalló en el marco teórico.

La implantación de la maqueta en el exterior para que funcione como un sistema de climatización como estrategia pasiva no tiene una orientación específica, pero se la ubicó maximizando la exposición a la luz solar, el suelo de la excavación para enterrar el tubo tipo manguera fue de tipo arcilloso y la profundidad de excavación fue de aproximadamente 20 cm.

Seguidamente, luego de la implantación en el exterior se procedió a instalar los termómetros higrómetros electrónicos con su sensor en el interior de la tubería de acero para de esta forma poder recoger los datos de la temperatura.

Para mejor visualización de la variación de la temperatura el interior y el exterior de la maqueta experimental se realizó el registro fotográfico con sistema infrarrojo para generar imágenes térmicas. Se utilizó la cámara térmica FLIR del smartphone Caterpillar modelo S60.

El estudio experimental se manifiesta mediante la manipulación de determinadas acciones con el fin de analizar sus posibles resultados. De este modo se pudo analizar numéricamente y evidenciar a través de estadística la climatización de ambientes y el confort térmico mediante la toma de datos de la temperatura de una vivienda común con un pozo canadiense, en terreno natural (exterior de vivienda local), donde luego se identificó puntos de toma de temperaturas (exterior e interior).

Las variables cuantitativas para la experimentación en este caso son el tiempo y la temperatura, donde como muestra para la toma de datos de temperatura se eligió las horas de cambios o picos de temperaturas como son al amanecer, medio día y en la noche.

Teniendo en cuenta que el experimento constituye una simulación de la aplicación de métodos o estrategias pasivas para climatización de espacios donde se utiliza la geotermia del suelo, los resultados a obtener van a concluir con la referencia si funciona o no lo planteado, más para diseño propiamente del sistema se debe tomar en cuenta diferentes variables para ser comparadas como son la humedad del suelo, propiedades de suelo, profundidad de implantación de ductos, longitud de ductos, etc.

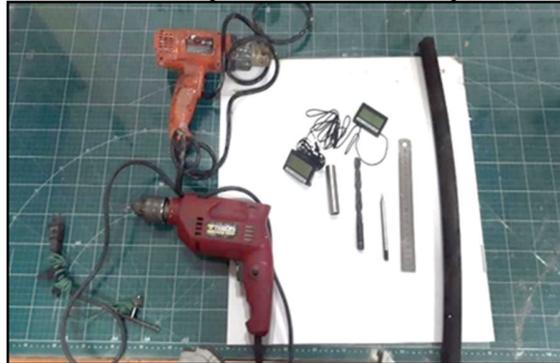
Resultados

Toma de datos.

El registro fotográfico del experimento y toma de datos se muestran en las siguientes gráficas.

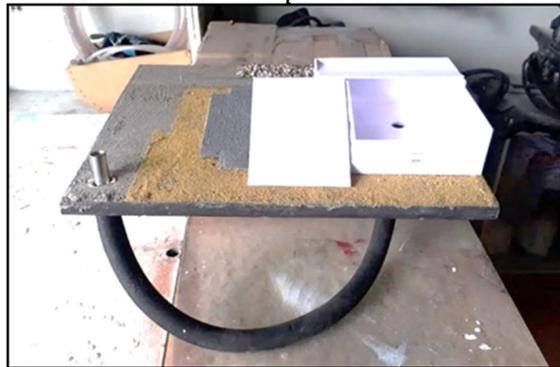


Figura 6
Materiales para realizar la maqueta



Fuente: Propia

Figura 8
Simulación del pozo canadiense



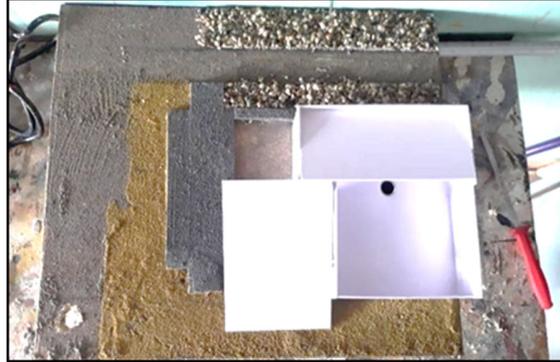
Fuente: Propia

Figura 10
Prototipo de pozo canadiense en vivienda



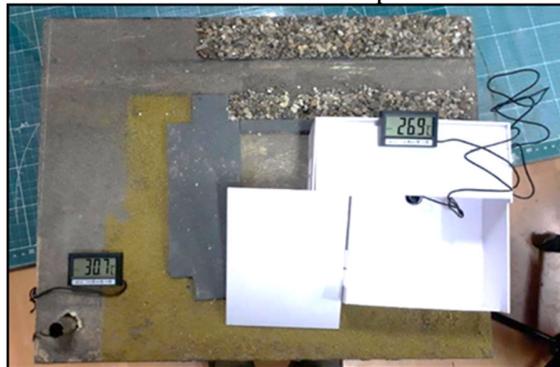
Fuente: Propia

Figura 7
Instalación y perforaciones



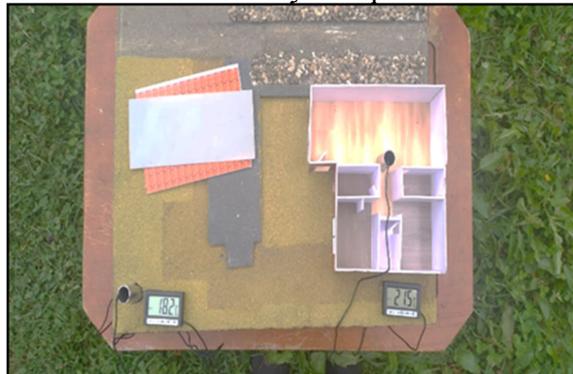
Fuente: Propia

Figura 9
Toma de datos de temperatura



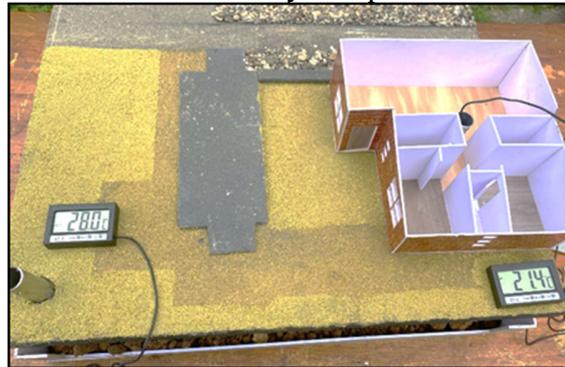
Fuente: Propia

Figura 11
A las 06:00 hrs.
Temperatura exterior: 18.2°C y Temperatura interior: 21.5°C



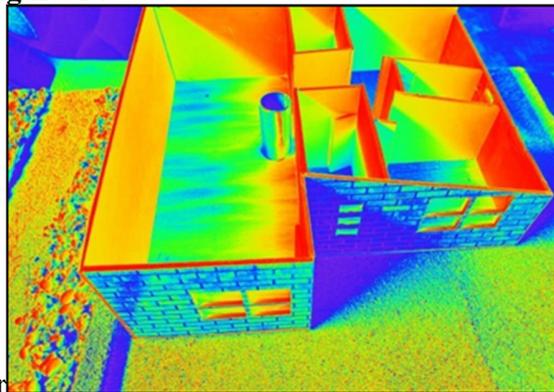
Fuente: Propia

Figura 12
A las 12:00 hrs.
Temperatura exterior: 28.0°C y Temperatura interior: 21.4°C



Fuente: Propia

Figura 14

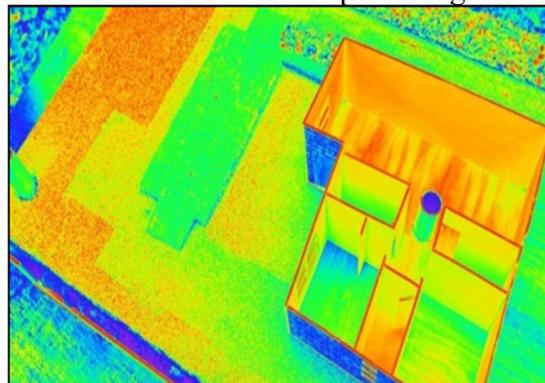


Variación térmica temperatura interior

Fuente: Propia

Figura 16

Variación térmica de temperatura general

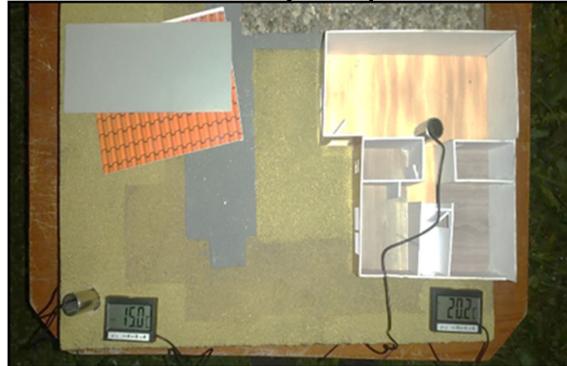


Fuente: Propia

Figura 13

A las 22:00 hrs.

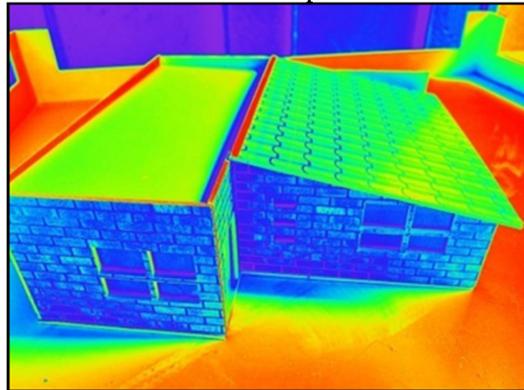
Temperatura exterior: 15.0°C y Temperatura interior: 22.2°C



Fuente: Propia

Figura 15

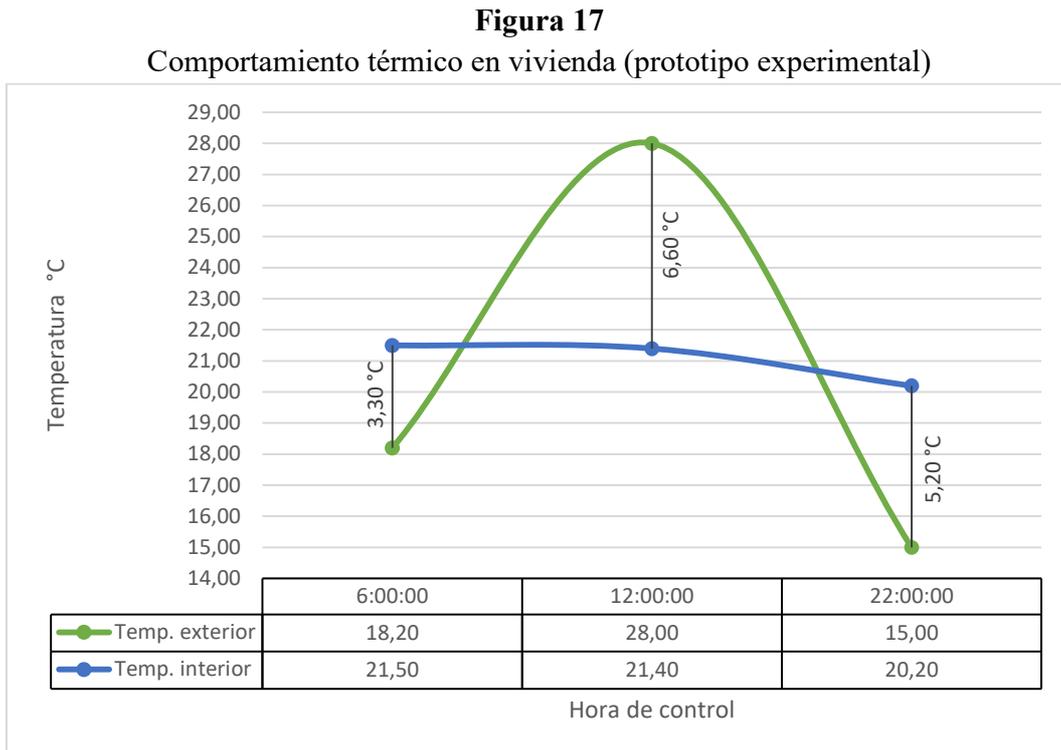
Variación térmica temperatura exterior



Fuente: Propia

Discusión

Se puede observar la efectividad en el comportamiento de la maqueta experimental como un sistema de climatización, tras la toma de datos de temperatura en diferentes horas del día se evidenció la ganancia y la pérdida de temperatura para establecer un confort térmico en el interior de la vivienda. Esto se lo puede ver en la siguiente gráfica:



Fuente: Propia

- La ganancia de calor a través de la energía geotérmica del suelo a las 06:00 es de 3.30°C relacionando temperatura exterior con interior con estrategia pasiva por pozo canadiense.
- La pérdida de calor a través de la energía geotérmica del suelo a las 12:00 es de 6.60°C relacionando temperatura exterior con interior con estrategia pasiva por pozo canadiense.
- La ganancia de calor a través de la energía geotérmica del suelo a las 22:00 es de 5.20°C relacionando temperatura exterior con interior con estrategia pasiva por pozo canadiense.

Los promedios se representan en la tabla 2.

Tabla 2
Variación de temperatura exterior e interior de vivienda (prototipo experimental)

Hora de control	Temperatura	Temperatura	Diferencia
-----------------	-------------	-------------	------------

	exterior (°C)	interior (°C)	de temperatura (°C)
6:00:00	18,20	21,50	3,30
12:00:00	28,00	21,40	6,60
22:00:00	15,00	20,20	5,20
Promedios:	20,40	21,03	5,03

Fuente: Propia

Durante el experimento, el sistema de pozos canadienses se mantuvo conectado, lo que permitió registrar su impacto en la temperatura interior. Esto se logró al reducir la temperatura ambiente del interior de la vivienda en aproximadamente 5,03°C con respecto a la temperatura promedio de 21,03°C del experimento. La reducción de la temperatura resultó ser un éxito y demostró que el sistema de pozos canadienses es un eficaz medio para regularizar las temperaturas interiores.

Por ello, cuando la temperatura exterior es muy alta, se recomienda encender el sistema por la mañana para obtener un mejor rendimiento. Al mismo tiempo, es importante asegurarse de que la temperatura interior no exceda los 26 °C para evitar cualquier problema con el sistema. Esto se debe a que la temperatura ambiente y el calor excesivo pueden reducir significativamente el rendimiento del sistema de pozos canadienses.

Además, se vio, que los pozos permiten conservar una temperatura del interior de la vivienda constante, si la exterior no muestra una alteración bastante alta. No se ha podido conocer cómo actúa el pozo según las condiciones de humedad.

El diseño de la casa también se ha adaptado para aprovechar al máximo los recursos naturales. La ubicación de la casa también se ha optimizado para maximizar la luz solar y reducir al mínimo las sombras en los días más calurosos. Esto ayuda a mantener la temperatura interior mucho más baja durante el verano sin necesidad de usar equipos de climatización.

Esta técnica de climatización natural es una solución eficaz para los edificios, ya que los tubos enterrados proporcionan una rápida recuperación de la temperatura del aire del exterior. Esto permite que el aire entrante sea climatizado y se distribuya por toda la estructura, sin necesidad de usar energía eléctrica o combustible. Por otra parte, los tubos enterrados permiten reducir el ruido exterior, lo que contribuye también al bienestar interior del edificio.

Es importante investigar y evaluar los materiales que se emplean en la fabricación de los tubos, así como su resistencia a la corrosión y cualquier otro factor que pueda afectar el rendimiento de la técnica. Esto llevará a una mayor eficiencia en el diseño de sistemas para adaptarse al cambio climático. Por otra parte, se debe tener en cuenta el costo de implementación con respecto a la cantidad de recursos que se necesitan para un sistema

eficiente. Esta información resultará útil para tomar decisiones acertadas sobre la mejor forma de abordar el cambio climático.

Conclusiones

La efectividad del funcionamiento del pozo canadiense como una estrategia pasiva de climatización de ambientes, asegura el confort térmico gracias al intercambio de calor producido por la energía geotérmica.

Esta estrategia se basa en el uso de los elementos naturales del entorno para controlar la temperatura y la humedad del aire interior. Esto se logra mediante la construcción de pozos canadienses que permiten que el aire fresco entre al edificio y se caliente con el sol, lo que permite un buen intercambio térmico. El aire caliente es luego conducido por los pozos canadienses hacia espacios ubicados en las plantas bajas, lo que ayuda a mantener un ambiente confortable.

La utilización del pozo es ineficaz al tener la temperatura del exterior de la vivienda es menor a 16° C, ya que el subsuelo está generalmente a 15° C, esta diferencia de temperatura no posibilita un trueque de calor adecuado. Si el promedio de temperatura del aire exterior que ingresa al pozo canadiense es de 24 °C, se ve mejor la transferencia del calor en el pozo. Si la temperatura del exterior de la vivienda es superior a 31° C, el sistema no trabajaría y más bien el aire que ingresa en la casa la haría que los espacios se calienten.

Se ve, que los pozos canadienses permiten conservar la temperatura del interior relativamente constante, si la temperatura exterior no muestra una alteración bastante alta. No se ha podido conocer cómo actúa el pozo canadiense según condiciones de humedad, pero si se sabe que ayuda a enfriar la vivienda de manera ecológica.

Es importante conocer las propiedades del clima, medio ambiente y del suelo en un estrato no menor a 3m del sitio donde se instale el pozo canadiense. Además, el análisis de sus recursos para ser ejecutados en la obra radica prácticamente conocer: la utilización del suelo, las características geotérmicas del suelo, la conductividad térmica, la alta capacidad calorífica y el grado freático.

La necesidad de los resultados positivos de dichos sistemas son varias entre las cuales está la inversión económica, porque requiere una inversión menor que una climatización eléctrica común, en especial si el diseño del inmueble solicita esa probabilidad, los requerimientos energéticos son enteramente marginales implicando un entretenimiento y mantenimiento bastante sobrios y son del todo sostenibles y ecológicos.

Actualmente dichos sistemas son optimizados por medio de la utilización de dispositivos que aprovechan las inercias térmicas cotidianas y estacionales existentes en el subsuelo aplicando

acumuladores térmicos que retardan la oscilación térmica en lugar de sencillamente templarla. La conductividad térmica del suelo es el elemento limitante de más grande relevancia que se ha de considerar en el diseño de un intercambiador.

Los pozos canadienses son positivos para los espacios que necesiten refrigeración debido a que, en los climas templados, si el sistema está de manera correcta diseñado posibilita reservarse de un equipo de climatización por de aire acondicionado común efectuando un gran ahorro al propietario.

Con las condiciones ideales se podría promover un ahorro de recursos naturales y energéticos, debido a que evadimos el empleo de calefactores u aires acondicionados que consumen energía para realizar el mismo trabajo de manera artificial.

Agradecimientos

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestría en Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca, por ello agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación; Ciudad, Ambiente y Tecnología(CAT), y Sistemas embebidos y visión artificial en ciencias, Arquitectónicas, Agropecuarias, Ambientales y Automática (SEVA4CA), por los conocimientos e información brindados para la elaboración del trabajo.

Referencias bibliográficas

- Aguirre, C., & Ordoñez, R. (2019). Estado del arte del aprovechamiento de energía geotérmica para climatización de ambientes mediante la técnica de pozo candiense.
- Brunat, L., & Escuer, J. (2018). Intercambiadores Tierra-Aire Y Técnicas Emparentadas. Ejemplos Y Experiencias. Geoconsultores.Org, March 2010.
- Cabezas, A. M. (2013). Eficiencia energetica a traves de utilizacion de pozos canadienses con el analisis de datos de un caso ral "Casa Pomaret". <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/21068>
- Cano Molina, J. (2013). Análisis comparativo de la técnica Greb y la implementación del Pozo Canadiense, como alternativas a sistemas constructivos y de climatización convencional. <http://repositorio.upct.es/handle/10317/3242>
- Clayton, S. (2019). Psicología y cambio climático. Papeles Del Psicólogo - Psychologist Papers, 40(2). <https://doi.org/10.23923/pap.psicol2019.2902>
- Crónica. (2021). El calentamiento global. Investigación y Ciencia.
- García-Ochoa, J., Quitp-Rodríguez, J., & Perdomo Moreno, J. A. (2020). Análisis de la huella

- de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente. Villavicencio: Universidad Cooperativa de Colombia, 22. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/16031>
- Gómez, N. M. (2019). Plan de negocio: Instalación de pozos canadienses para viviendas unifamiliares en la comunidad de madrid. Universidad Carlos III de Madrid. <https://core.ac.uk/download/pdf/288502404.pdf>
- Herrera Gil, D. A. (2017). Estrategias bioclimáticas orientadas al confort térmico para el diseño de un centro de diagnóstico y tratamiento alergológico en la zona rural de Simbal. In Universidad Privada del Norte. [https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/11687%0Ahttp://files/141/Gil y Alejandro - 2017 - Estrategias bioclimáticas orientadas al confort té.pdf%0Ahttp://files/140/11687.html](https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/11687%0Ahttp://files/141/Gil%20y%20Alejandro%20-%202017%20-%20Estrategias%20bioclimaticas%20orientadas%20al%20confort%20te.pdf%0Ahttp://files/140/11687.html)
- Huellas de la arquitectura. (2018). MEDIDAS ACTIVAS Y PASIVAS EN LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA. <https://huellasdearquitectura.com/2018/09/12/medidas-activas-y-pasivas-en-la-arquitectura-bioclimatica/>
- Martín, S. (2018). El terreno como intercambiador. Universidad Politécnica de Madrid.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 7730. (2014). Ergonomía del ambiente térmico.
- Peiretti, A. S. (2017). Geotermia de baja entalpia en suelos loessicos: caso de estudio. In Nota de coyuntura CBC mayo.
- Pérez, M., ... A. P.-... R. y M., & 2020, undefined. (2018). Energía geotérmica de baja entalpia en suelos loéssicos: cálculo y diseño para caso de estudio. *Portalderevistas.Unsa.Edu.Ar*, 22, 23-27. <http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/averma/article/view/1211>
- Quiroa, M. (2019). Energía renovable - Qué es, definición y concepto | 2023 | Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/energia-renovable.html>
- Romero, J. A. (2020). Vivienda bioclimática. Instituto de Arquitectura Tropical.
- Santilli, F. A. (2014). Energía Geotérmica de Baja Entalpía: Comprobación de presencia y análisis conceptual de aprovechamiento.
- Westreicher, G. (2020). Recurso - Qué es, definición y concepto | 2023 | Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/recurso.html>
- Yousfi, A., Mondéjar, T. C., Carlos, J., & Curso, E. T. S. A. V. (2020). Análisis bioclimático de edificio residencial en Marruecos . Propuestas de mejora con técnicas constructivas autóctonas .

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

